

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматизації та управління в технічних системах**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І. Ролік

«__» _____ 2019 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
з напрямку підготовки 6. 050201 «Системна інженерія»
на тему: «Автоматизована система керування процесом переробки ПЕТ-
виробів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІА-51

Сверчков Владислав Андрійович _____

Керівник:

старший викладач, Шимкович Володимир Миколайович _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 рік

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Автоматизована система керування
процесом переробки ПЕТ-виробів»**

Київ – 2019 рік

3MICT

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	7
1.1 Лінія переробки ПЕТ-виробів С-КО-ПЭТ-300.....	7
1.2 Лінія переробки ПЕТ-виробів A257LYHIC.....	10
1.3 Лінія переробки ПЕТ-виробів компанії «Техпром»	12
2 ОПИС ОБ`ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ	16
3 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	21
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ.....	22
5 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ	24
5.1 Загальний опис складу системи та її контурів	24
5.2 Опис функціонування системи	26
6 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ І ОПИС ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	30
6.1 Витратомір	30
6.2 Давач положення	31
6.3 Датчик температури.....	33
6.4 Датчики рівня	35
6.5 Двигуни	38
6.6 Дисплей	41
6.7 Керуючі клапани	43
6.8 Контролер.....	50

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Сверчков В. А.				Літер.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.		Шимкович В.М.					Т	2	93
Н.контр.									
Затв.									

6.8.1 Базовий блок	50
6.8.2 Модуль аналогового введення	53
6.8.3 Модуль аналогового виведення	53
6.8.4 Модуль дискретного введення.....	54
6.8.5 Модуль дискретного виведення	54
6.9 Насос	55
7 МОДУЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ	57
7.1 Моделювання клапану постачання гарячої пари	57
7.2 Розрахунок параметрів контурів регулювання	63
8 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	74
9 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ.....	84
10 РОЗРОБКА ЩИТА УПРАВЛІННЯ	86
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

SFC – Sequential Function Chart (послідовні функціональні схеми)

ST – Structured Text (структурований текст)

ІП – інтелектуальний позиціонер

Кл – клапан

ККД – коефіцієнт корисної дії

МР – мотор-редуктор

ПЕТ – поліетилентерефталат

Ш - шток

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У двадцять першому сторіччі населення планети за своїми розмірами перевищує відмітку у сім мільярдів осіб. Потреби такої великої кількості людей, відповідно, є високими та потребують наявності гарно налагодженої та високошвидкісної системи виробництва товарів народного вжитку. У якості тари для такої продукції виступають пластикові вироби, що широковідомі завдяки своєму відносно легкому та недорогому процесу виготовлення, кінцевий результат якого дає довговічні та міцні засоби зберігання товарів. При цьому людство у своєму використанні продукції з пластику зайшло настільки далеко, що наразі навіть не тисячі, а мільярди тон пластикового сміття створюють широкомасштабні екологічні проблеми.

Антропогенні сміттєві острови на півночі Тихого океану, величезні сміттєві звалища, переважну частину яких становлять саме пластикові вироби – це результати глобального нераціонального користування пластмасовою продукцією, яка, до речі, має час розкладання у природньому середовищі від двохсот років [1]. Представники тваринного світу часто сплутують предмети з пластику з їжею і ковтають їх; при цьому організм тварин погано справляється з виведенням або перетравлюванням таких предметів, через що істоти просто гинуть. Особливу шкоду наносять вироби з поліетилентерефталату (так звані ПЕТ-вироби), переважну частину яких становлять пляшки. Така ситуація вимагає негайного втручання людини і створює велику актуальність проблеми утилізації даних ПЕТ-відходів.

Даний курсовий проект спрямований на проектування автоматизованої системи по переробці поліетилентерефталатових предметів, які застосовуються у повсякденному житті суспільства у товарах народного споживання. Глобальна мета - спроектувати систему, що дасть змогу більш раціонально використовувати ПЕТ-вироби, зменшити об'єми пластикового сміття та зменшити антропогенний вплив на навколишнє середовище загалом. Локальна мета – автоматизувати процес переробки поліетилентерефталатових відходів і при цьому зробити його

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективнішим, рентабельнішим та доступнішим для використання на промислових підприємствах харчової галузі, що безпосередньо виготовляють ПЕТ-продукцію, і щоб при цьому ступінь залученості людини до процесу була мінімальною.

Для досягнення поставленої в бакалаврському проекті мети використані такі методи дослідження, як: вивчення літератури та наукових статей з автоматизації та проектування промислових систем, відвідування відповідних інтернет-ресурсів, моделювання складових системи, аналіз схожих систем та їх порівняння.

Спроектована автоматизована система у порівнянні зі схожими дає сумарно нижчу вартість її створення за рахунок видалення з технологічних ланок надлишкових пристроїв та підсистем, котрим була знайдена заміна шляхом залучення додаткових хімічних рідин, які спрощували процес очищення пластику та пластикового флексу. При цьому втрати на електроенергію менші, як і площа, котру займатиме вся конструкція. Ефективність та швидкість роботи системи при цьому збільшені, а діяльність людини у самому процесі переробки - мінімальна.

Практичне значення одержаних результатів полягає у спрощенні та автоматизації процесу переробки ПЕТ-виробів харчової галузі і отриманні з них флексу – дрібних пластикових часток. Підхід, запропонований у даному дипломному проекті, дозволяє також раціональніше використовувати електроенергію, площу приміщення та зменшує складність системи. При цьому переробка ПЕТ-виробів дозволяє зменшити негативний антропогенний вплив на навколишнє середовище. Автоматизація системи прибере участь людини у тих процесах, де вона зайва і де вона може бути менш ефективною ніж машини.

Бакалаврський проект складається з наступних розділів: вступ, огляд та аналіз існуючих рішень, опис об'єкту проектування, технічні характеристики, розробка структурної схеми, розробка функціональної схеми, обґрунтування вибору і опис засобів автоматизації, моделювання та дослідження спроектованої системи, програмне забезпечення, розробка алгоритму програми керування, розробка щита управління, висновки та список використаних джерел.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Лінія переробки ПЕТ-виробів С-КО-ПЭТ-300

«Станкополімер» - російська компанія, котра близько двадцяти п'яти років виробляє обладнання для переробки полімерних матеріалів. Займається виготовленням, продажем, налаштуванням та обслуговуванням не лише окремо взятого обладнання, але й цілих систем [2]. Серед таких можна виділити автоматизовану лінію «С-КО-ПЭТ-300», яка зображена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Автоматизована лінія переробки ПЕТ-виробів С-КО-ПЭТ-300 компанії «Станкополімер» [2]

Дана система має наступні технічні характеристики:

- встановлена потужність: 150 кВт/год;
- фактична потужність: 103 кВт/год;
- оновлення води з та без очищення: 1 м³/год та 3 м³/год;
- обслуговуючий персонал: 3 людини;
- площа: 85 м²;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- продуктивність переробки: 300 кг/год.

Усе обладнання, що у сукупності утворює лінію переробки ПЕТ-виробів, зображене на рисунку 1.2.



Миючий подрібнювач



Шнековий вивантажувач



Ванна флотації



Підігрівуюча мийка



Центрифуга



Аеросепаратор

Рисунок 1.2 – Обладнання, з якого складається лінія переробки ПЕТ-виробів моделі С-КО-ПЭТ-300 [2]

Процес переробки ПЕТ-виробів харчової галузі у флекс відбувається наступним чином: ПЕТ-продукти завантажуються до подрібнювача робітником, де над сировиною здійснюється початкова обробка водою та подрібнення до необхідних розмірів; вода з пластиковими крихтами потрапляють до шнекового вивантажувача, де відбувається додаткове очищення суміші спреєм.

Далі консистенція потрапляє до ванни флотації, в котрій йде розділення на фракції за щільністю: крихти пластику піддаються багатофазовій очистці від чу-

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

жорідних часток в різних частинах ванни. Зайва фракція зливається в окрему ємність, пластикові частинки відправляються до підігрівачої мийки. Під дією хімічних речовин та високої температури під час перемішування від ПЕТ-часток відокремлюється клей та залишки етикеток. В центрифугу флекс сушиться і остаточно очищується від інших елементів завдяки перфорації, що проходить під дією відцентрової сили. В аеросепараторі відбувається фінальна стадія очищення ПЕТ-частинок від етикеток та їх прийом іншим робітником.

Керування системою відбувається за допомогою інформативного пульта управління, який зображений на рисунку 1.1. Це досить зручно для оператора, проте у разі виникнення надзвичайної ситуації, яка потребує цільового втручання людини у діяльність окремого обладнання, виникнуть проблеми, оскільки ніяких кнопок чи дисплеїв, які б відображали стан проблемної ділянки і давали можливість щось переналаштувати, подрібнювач, ванна, центрифуга та інші механізми не мають. Якщо пульт управління закоротить або один з механізмів лінії переробки вийде з ладу уся система буде недієздатною і подальша її робота буде паралізована.

Вартість даної системи складає сто тридцять тисяч доларів або три з половиною мільйони гривень – досить велика ціна для порівняно невеликої та простої системи переробки. При цьому усі механізми лінії переробки є фірмовими, що гарантує мінімальну частоту збоїв та повну сумісність приладів.

Висновки з діяльності даної автоматизованої системи можна зробити наступні: досить компактна за площею, має високу вартість, за годину переробляє 300 кг сировини, усі складові лінії вироблені на одному і тому самому спеціалізованому підприємстві, що свідчить про якість та гарну налагодженість системи. Керування відбувається лише за допомогою керуючого пульта; у випадку непередбачуваної ситуації ручне налаштування приладу лінії переробки є неможливим.

Для проектування власної автоматизованої системи з лінії С-КО-ПЭТ-300 буде взята компактність площі, котру займає обладнання, відносна простота побудови системи, ідея з окремою панеллю керування. При цьому кожному об-

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ладнанню буде надана можливість ручного налаштування та керування. Система очищення, у порівнянні з наданою, буде спрощена, оскільки містить певні надлишкові процеси, що збільшують вартість системи та зменшують її швидкодію. Уся інформація була взята з джерела [2].

1.2 Лінія переробки ПЕТ-виробів A257LYN1C

Дана система була спроектована, розроблена та запущена у КНР. Зображена на рисунку 1.3. Виробничий процес разом з переліком обладнання зображений на рисунку 1.4. Сама система займає майже втричі більше місця - приблизно 220 м².



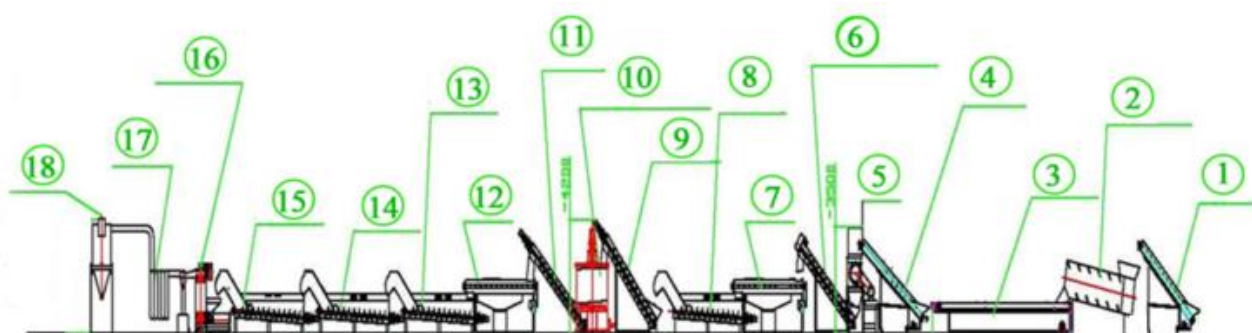
Рисунок 1.3 – Лінія переробки ПЕТ-виробів моделі A257LYN1C [3]

Технічні характеристики автоматизованої лінії переробки наступні [3]:

- загальна потужність: 125 кВт/год;
- продуктивність переробки: 300 кг/год;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розмір вихідного ПЕТ-флексу: до 16 мм;
- вміст домішок: менше 0,01%;
- вологість: від 3% до 5%.



- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Конвеєрна стрічка | 9. Шнековий завантажувач |
| 2. Сепаратор етикеток | 10. Ванна гарячої мийки |
| 3. Сортувальний конвеєр | 11. Шнековий завантажувач |
| 4. Конвеєрна стрічка | 12. Миючий пристрій |
| 5. Вологий подрібнювач | 13, 14, 15. Промивальний басейн |
| 6. Шнековий механізм подачі матеріалу | 16. Відцентровий висушувач |
| 7. Миючий пристрій | 17. Аеродинамічний висушувач |
| 8. Одношнековий промивальний басейн | 18. Циклонний бункер |

Рисунок 1.4 – Схема технологічного процесу системи A257LYNHC [3]

Коштує така система до ста тисяч доларів або більше двох з половиною мільйонів доларів, що дешевше за попередньо розглянуту лінію.

Дана лінія переробки ПЕТ-виробів функціонує подібно до лінії С-КО-ПЭТ-300. Конвеєром пластикова продукція потрапляє до сепаратора етикеток, де вилучаються етикетки; далі пластик рухається конвеєром, у вологому подрібнювачі подрібнюється та додатково очищується від бруду та залишків етикеток. Шнековий механізм подачі дозволяє розбити вихідну суміш з крихт та води на менші купи, котрі проходять мийку хімічними речовинами, потім піддаються дії гарячої води і знову очищуються хімічними розчинами. В трьох наступних басейнах флекс проходить фінальний етап очищення.

В кінці чисті від етикеток, бруду та залишків хімічних реагентів ПЕТ-крихти проходять сушку у відцентровому і аеродинамічному висушувачах, і у циклонному

бункері. Потім сировина потрапляє до спеціальних ємностей. Чистий пластиковий флекс отримано.

Лінія переробки керується за допомогою пульта керування, як і попередній розглянутий екземпляр.

З переваг автоматизованої системи переробки ПЕТ-виробів моделі A257LYNІC можна відмітити нижчу вартість та більшу автономність керування обладнанням у порівнянні з моделлю С-КО-ПЭТ-300. При цьому вона займає більшу площу, більше споживає електроенергії, складові системи виготовляють різні компанії, через що можливі несумісності обладнання та більший ризик виникнення неполадок; продуктивність має таку саму як і С-КО-ПЭТ-300.

Для проектування власної системи з даної лінії переробки можна взяти ідею автономності окремого взятого обладнання, що надасть змогу власноруч налаштовувати його у разі виникнення непередбачуваних ситуацій. При цьому така кількість складових системи (вісімнадцять одиниць обладнання не враховуючи пульта керування) є занадто великою, тому слід її зменшити за рахунок введення більш економічних та не менш ефективних технологій очищення, що базуються на хімічних реагентах, безпечних для навколишнього середовища, та є дієвими у боротьбі із зайвими речовинами. Це надасть також і економію електроенергії.

1.3 Лінія переробки ПЕТ-виробів компанії «Техпром»

Заслуговує на аналіз система переробки ПЕТ-продукції від компанії «Техпром», яка продемонстрована на рисунку 3.5. Складається з семи модулів обладнання і одного пульта керування. Технічна характеристика наступна:

- продуктивність переробки: 500 кг/год;
- розмір флексу: від 10 мм до 20 мм;
- максимальна споживана потужність: 145 кВт/год;
- напруга живлення ланцюгів управління: 220 В змінного струму;
- напруга і частота електроживлення двигунів: 380 В, 50 Гц;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- персонал для управління лінією: 3 людини;
- масова частка попелу: не більше 0.05 %;
- масова частка пилу: не більше 0.5 %;
- масова доля води: не більше 2 %;



Рисунок 1.5 – Лінія переробки ПЕТ-виробів компанії «Техпром» [4]

Система за своїми характеристиками дуже близька до іноземних аналогів, надає невисокі затрати з експлуатації, високу якість вихідних ПЕТ-пластівців, є простою в експлуатації, відносно неважкою у побудові. Всі модулі лінії є фірмовими, що свідчить про їх повну сумісність, а отже і про низьку ймовірність появи проблем у системі.

Процес переробки відбувається майже аналогічно попереднім: працівник кладе ПЕТ-вироби до подрібнювача, через шнек флекс потрапляє до флотаційної ванни, де відбувається розділення суміші на фракції. Потім пластівці потрапляють до гарячої ванни, де позбуваються залишків етикеток та клею під дією високотемпературної води та хімічних речовин. В холодній ванні також відбувається очищення флексу але вже без втручання хімії. Пластикові крихти остаточно позбуваються технічних забруднень та слідів миючих реагентів.

Модуль віджиму сушить пластівці за допомогою відцентрової сили і подає до бункеру зберігання готовий ПЕТ-флекс.

Дана система переробки, у порівнянні з попередніми двома, має більшу продуктивність, є дуже схожою до лінії С-КО-ПЭТ-300 за кількістю модулів обладнання. При цьому кожен модуль має автономність у налаштуванні обладнання та керуванні ним у разі несправності пульта керування. Ціна становить більше ста шестидесяти тисяч доларів або понад чотирьох мільйонів гривень – найдорожча модель серед розглянутих. Площа розгорнутої системи – 115 м².

Для проектування власної автоматизованої лінії, з лінії переробки «Техпром» можна взяти на замітку її нескладну побудову і вміле використання миючих хімічних засобів, кількість яких зведено до мінімуму у порівнянні з моделлю A257LYNІC, що зменшує необхідну для системи площу, та підвищує її продуктивність. Інформація щодо цієї лінії була взята з джерела [4].

Таким чином, були розглянуті три різні за кількістю модулів, ціною, займаною площею, якістю обладнання та певними технічними характеристиками системи переробки ПЕТ-виробів. Для наочного порівняння ліній автоматизації була створена таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння розглянутих систем переробки ПЕТ-виробів

	С-КО-ПЭТ-300	A257LYNІC	Техпром
Площа	85 м ²	220 м ²	105 м ²
Вартість	130000\$	100000\$	160000\$
Робітники	3	6	3
Розмір флексу	10 мм...23 мм	10 мм...16 мм	10 мм...20 мм

Продовження таблиці 1.1

Продуктивність	300 кг/год	300 кг/год	500 кг/год
Потужність	103 кВт	125 кВт	140 кВт
Живлення	380 В, 50 Гц	380 В, 50 Гц	380 В, 50 Гц
Модулі очищення	5	11	5
Панель керування	Є	Є	Є
Автономність модулів	Відсутня	Можлива	Можлива

Висновки за розглянутими системами вже були детально сформульовані у кожному підрозділі. У якості узагальнення можна зазначити наступне: проектована система має бути компактною за площею, споживати порівняно невелику кількість електроенергії, мати гарну але не надлишкову очисну підсистему; обладнання повинно мати можливість автономного налаштування у разі непередбачуваних ситуацій, пов'язаних з пультом керування безпосередньо.

2 ОПИС ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

Даний дипломний проект спрямований на проектування автоматизованої системи, котра здатна перероблювати ПЕТ-вироби, що активно використовуються у харчовій галузі, у дрібні крихти – флекс, котрий є основою для повторного використання в інших промислових галузях. Основна частка поліетилентерефталатової продукції припадає на пластикові пляшки, що слугують тарою для різного роду споживчих рідин – саме вони і слугуватимуть сировиною для переробки у проектованій системі.

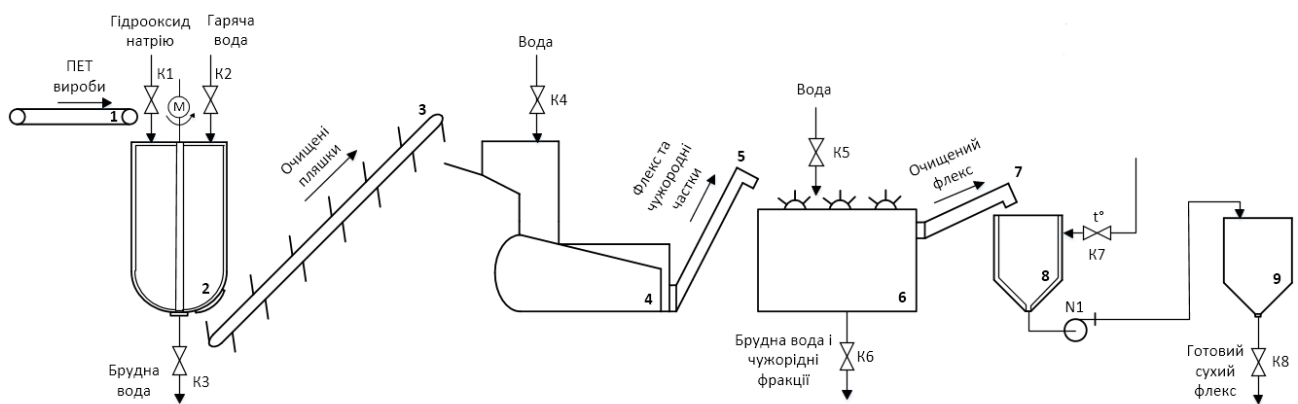


Рисунок 2.1 – Схема системи, що переробляє ПЕТ-вироби

Рисунок 2.1 яскраво демонструє усі модулі, які приймають безпосередню участь в утворенні пластикового флексу з вхідних ПЕТ-пляшок. Нижче детально описаний загальний технологічний процес.

ПЕТ-вироби рухаються конвеєром 1 і потрапляють до резервуару 2. Перед цим пластик проходить попередню обробку – пляшки сортуються за кольором та позбуваються кришок. Позбавлення кришок зумовлене необхідністю усунення закритих повітряних середовищ пластикових виробів, які ускладнюють роботу подрібнювача та призводять до його швидкого зносу. У резервуарі 2 пляшки проходять перший етап очищення: клапанами K1 і K2 подається гаряча вода температурою 50 °C та гідроксид натрію (інша назва - каустична сода).

Також резервуар містить лопаті M, що постійно обертаються та змішують

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

суміш гарячої води з каустичною содою, що допомагає рідині краще взаємодіяти з пляшками. Гідрооксид натрію є неорганічною сполукою, котра добре очищує від бруду, пилу, піску, жиру, сажі тощо. При цьому дана хімічна речовина є лугом, тому її контакт з людиною має бути обережним та із застосуванням захисних засобів з гуми. Лопаті обертаються постійно з моменту початку роботи системи і до її повного відключення. Час постачання соди – 40 с, води – 2 хв. Брудна вода викачується з резервуару через клапан К3 протягом 3 хв. Після викачки брудної води відкривається боковий клапан, і очищені ПЕТ-вироби потрапляють на конвеєр 3 рівномірно за допомогою роботи мішалки, котра не дозволяє пляшкам застрягати і змушує їх покидати резервуар 2 рівномірно.

Конвеєр транспортує пляшки до миючого подрібнювачу 4. Пляшки потрапляють під потік води з клапану К4, потім подрібнюються до крихт розміром від 10 мм до 16 мм (розмір налаштовується відстанню між ножами всередині модулю). Миючий подрібнювач виконує одразу декілька функцій: миє пляшки, зменшує рівень шуму, збільшує термін служби ножів та довговічність обладнання. Крихти пластику називаються флексом. Після подрібнення частки ПЕТ виводяться з обладнання шнековим вивантажувачем 5. Детальніше зображення описаних вище процесів на рисунку 2.2.

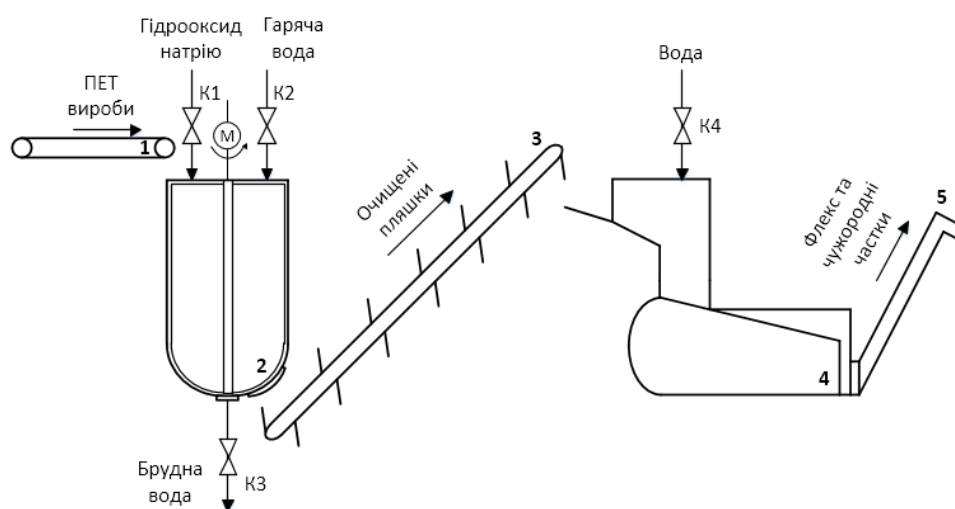


Рисунок 2.2 – Конвеєрні стрічки 1 та 3, резервуар з лопаттю 2, миючий подрібнювач 4 та шнековий вивантажувач 5

З шнекового вивантажувача 5 флекс потрапляє до флотаційної ванни 6, в якій відбувається розділення за фракціями. Ванна наповнена водою; сировина при потраплянні в резервуар проходить через секції, що розділені барабанами з лопатями, котрі постійно обертаються у напрямку шнекового вивантажувача 7; при проходженні секцій флекс очищується від залишків етикеток та інших чужорідних матеріалів. При цьому зайві частини залишаються на поверхні води, а пластикові крихти за рахунок більшої ваги осідають вниз обладнання, звідки їх підбирає шнековий вивантажувач 7 [5]. Брудна вода зливається разом із зайвими фракціями постійно у невеликих об'ємах у окремий резервуар через позиційний клапан К5. Чиста вода так само подається постійно невеликими об'ємами через позиційний клапан К6.

З шнекового вивантажувача 7 флекс потрапляє до центрифуги 8, котра призначена для висушування та остаточного очищення крихт від бруду і залишків етикеток. Сировина потрапляє до центрифуги, де під дією відцентрової сили відкидається до стінок барабану. Флекс під дією сили та підведеного через клапан К7 гарячого повітря швидко сушиться, а чужорідні частки відкидаються на спеціальні внутрішні стінки обладнання. Потім крихти потрапляють до бункера 9 через трубу з насосом N1. Клапан К8 виводить флекс в інші ємності. Детальніше описаний процес зображений на рисунку 2.3.

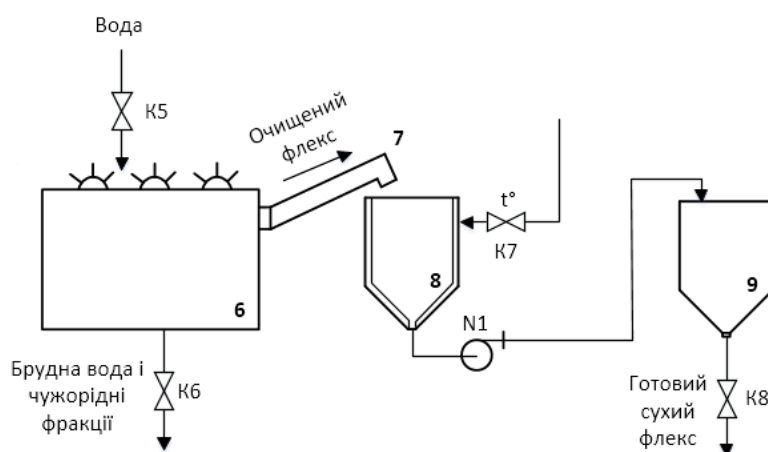


Рисунок 2.3 – Флотаційна ванна 6, шнековий вивантажувач 7, центрифуга 8 та бункер 9

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Детально розглянемо характеристики кожного задіяного модулю та пристрою.

Конвеєрна стрічка 1 має габарити: довжина – 5000 мм, ширина – 1500 мм, висота – 1575 мм. Мотор-редуктор – 750 Вт. Швидкість руху стрічки – 150 мм/с (можна регулювати).

Ємність для ПЕТ пляшок 2 має циліндричну форму із заокругленим дном, де знаходяться два отвори – один для змиву брудної води, інший для вилучення оброблених пляшок. Висота ємності – 4000 мм, ширина – 1500 мм. Заокругленість закінчується на висоті 500 мм. Об'єм – 6,66 м³.

Лопаті, що знаходяться у резервуарі 2 мають майже ті самі розміри, що і ємність тільки на 30 мм менші. Кількість лопатей – 9 (3 ряди з трьома лопатями), частота обертання – 20 об/хв.

Конвеєрна стрічка 3 має додаткові зубці, аби пляшки не з'їжджали донизу. Нахилена до подрібнювача відносно підлоги під кутом 63°. Довжина – 3200 мм, ширина – 865 мм, висота – 1575 мм.

Миючий подрібнювач 4 має наступні габарити: висота – 1910 мм, ширина – 1500 мм, довжина – 3450 мм. Розмір вікна завантаження: 790 мм на 580 мм. Ножі роторні – 16 шт., стаціонарні – 4 шт. Частота обертання ротора – 560 об/хв. Діаметр ротора – 500 мм. Потужність двигуна: мінімальна – 25 кВт, максимальна – 110 кВт. Продуктивність – 600 кг/год.

Шнековий вивантажувач 5 та 7 має мотор редуктор на 1 кВт; частота обертів шнека – 70 об/хв. Габарити наступні: довжина - 2200 мм для 5 та 5000 мм для 7, ширина обох – 1015 мм.

Флотаційна ванна 6 має потужність 3,5 кВт, містить 2,5 м³ води; її довжина – 2500 мм, ширина – 1600 мм, висота – 1300 мм. Продуктивність – 1000 кг/год.

Центрифуга має форму циліндру, тільки знизу конус. Має потужність двигуну 18 кВт. Частота обертання ротору – 1460 об/хв. Довжина – 1500 мм, ширина – 1500 мм, висота – 2000 мм. Продуктивність – 1000 кг/год.

Насос підвищеного тиску N1 переправляє ПЕТ крихти до бункеру 9. Максимальна продуктивність – 3000 м³/год, максимальна частота обертання –

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– 3000 об/хв, живлення – 380 В.

Бункер 9 зберігає флекс або переправляє його до іншої ємності. Має будову як у центрифуги – циліндричну, що закінчується конусом знизу (висота конусу – 0,5 м). Висота – 3 м, діаметр – 1 м.

Кожне обладнання має певні датчики, котрі відстежують його стан у поточний час. Резервуар 2 має датчики рівня, котрі відслідковують рівень наповненості рідиною та пляшками. Такий датчик має і ванна флотації, за допомогою якого визначається допустимий рівень води у ємності. Центрифуга має датчик температури, аби відслідковувати ступінь нагріву обладнання. Бункер 9 озброєний датчиком наповненості, аби слідкувати за кількістю флексу. Клапани К1 – К8 регулюють подачу сировини, води та утилізацію відходів у процесі функціонування системи. Шнекові вивантажувачі 3 і 5 та конвеєрна стрічка відповідають за транспортування ПЕТ пляшок та флексу.

Таким чином система досить компактна - займає близько 47 м², споживає загалом не більше 90 кВт. Раціональна автоматизація системи спросить керування нею, збільшить її зручність у використанні та надасть їй більшу безпеку за рахунок вилучення непотрібного людського фактору.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Проектована автоматизована система керування процесом переробки ПЕТ-виробів має відповідати наступним технічним вимогам:

- живлення обладнання системи: 380 В, 50 Гц;
- споживання потужності: не більше 90 кВт;
- розмір флексу на виході: від 10 мм до 16 мм;
- продуктивність перероблених пляшок: 300 кг/год;
- займана системою площа: не більше 50 м²;
- наявність операторського щита керування та з'єднання з ним через Ethernet;
- вимір і індикація рівнів пляшок та води з лугом у резервуарі, рівня води у флотаційній ванні, температури у центрифугі, рівню наповненості флексом бункеру витримки;
- сигналізація (увімкнення ламп на операторському щиті) у випадку перевищення рівнів води з лугом (3,8 м) та пляшок (3,7 м) у резервуарі, рівню води у флотаційній ванні (1,1 м), значення температури у центрифугі (у межах до від 155 °С до 160 °С), рівню флексу у бункері витримки (2,9 м);
- можливість відстежувати покази датчиків як на дисплеї операторського щита, так і на приладах по місцю;
- управління станами мішалки, двигунів обладнання та насосом з операторського щита – увімкнення/вимкнення;
- управління станами клапанів з операторського щита – відкриття/закриття шести клапанів дискретної дії та регулювання двох клапанів аналогової дії;
- точний температурний контроль допустимих меж центрифуги – до 160 °С;
- можливість керування станами клапанів, двигунів обладнань, мішалки, насосу та люку не лише з операторського щита, але і по місцю;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ

Структурна електрична схема – схема, що визначає основні функціональні частини системи управління, їх призначення та взаємозв'язки. Дані схеми розробляють при проектуванні систем на стадіях, що передують розробці схем інших типів, і користуються ними для загального ознайомлення з майбутньою системою автоматизації.

Проектована автоматизована система керування процесом переробки ПЕТ-виробів складається з наступних основних структурних елементів:

- польові засоби (датчики, виконавчі механізми, двигуни, місцеві прилади), котрі безпосередньо приймають участь у переробці пластику;
- робоче місце оператора, котре представлено у даному проекті операторським щитом, який містить кнопки керування клапанами, двигунами та насосом, дисплей для відображення інформації з датчиків та лампочки, що спалахують у випадку фіксування датчиками певних відхилень у протіканні виробничих процесів системи.

Сама структурна схема наведена на аркуші формату А3 і має порядковий номер ІА51.230БАК.005 Э1.

Ядро автоматизації даної системи складає контролер, що пов'язує між собою польові засоби та операторський щит. Він передає керуючі сигнали до клапанів, двигунів та насосу, а також інформацію від датчиків та сигнали лампочкам на операторський щит; натомість він отримує інформацію від датчиків та витратоміру безпосередньо з місця функціонування системи та керуючі сигнали керування клапанами і двигунами від операторського щита.

Детальніше про отримання і передачу сигналів: контролер отримує інформацію від чотирьох датчиків рівня (рівню води в резервуарі, пляшок у резервуарі, води у флотаційній ванні, флексу у бункері витримки), двох давачів положення (один вказує ступінь відкриття клапану, через який вода надходить до флотаційної ванни, інший – ступінь відкриття клапану, що подає гарячу пару до центрифуги), датчику температури (вимірює щосекундно покази температури у

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

центрифугі) та витратоміру (показує витрати гарячої пари, що надходить до центрифуги). Ці дані контролер переправляє на дисплей операторського щита, де вони відображаються операторові у компактному вигляді. Також контролер може аналізувати сигнали від датчиків і, за умови перевищення певних значень від датчиків, подавати сигнал на увімкнення лампочок на щиті.

Оператор, отримуючи дані від контролера, бачить їх на дисплеї і при цьому має можливість впливати на хід роботи системи за рахунок натискання на відповідні кнопки керування клапанами (подачі готового флексу, чистої води до подрібнювача, гарячої води та гідрооксиду натрію до резервуару, виведення брудної води з флотаційної ванни та резервуару) або перемикати восьмипозиційну ручку (для відкриття на певну ступінь аналогових клапанів – подачі води до флотаційної ванни та подачі гарячої пари до центрифуги), вмикати або вимикати обладнання (через їх вбудовані та під'єднані до контролеру двигуни флотаційної ванни, стрічкового конвеєру, двох шнекових вивантажувачів, миючого подрібнювача, розділювального конвеєру, центрифуги), двигуни мішалки і люку та насос.

Внаслідок дій оператора над щитом, клапани з двигунами отримують відповідні сигнали через контролери, чим спричиняють зміни у виробничих процесах системи. При цьому ці зміни фіксують датчики і передають на контролер. Далі послідовність дій повторюється за вище описаним алгоритмом.

Таким чином, дана структурна схема дає досить точне уявлення про автоматизовану систему переробки ПЕТ-виробів, її основні функціональні складові та те, як саме ці складові між собою взаємодіють.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

5.1 Загальний опис складу системи та її контурів

Функціональна схема наведена на аркуші формату А3 і має порядковий номер ІА51.230БАК.005 Э2. Вона є одним із традиційних способів вивчення автоматизованих систем керування і в цьому проекті надає графічне зображення всієї системи у контексті використовуваного обладнання та польових засобів, засобів зв'язку приладів та модулів системи з операторським щитом, пристроїв керування та інформування на щиті. Також дана схема відображає контури, на які було поділено систему.

Дана схема побудована на базі контролера ADAM-8000, котрий має необхідну кількість аналогових та дискретних входів та виходів для належного функціонування системи переробки. Обґрунтування вибору контролера та його модулів детально розглянуто у розділі 6.

Отже, автоматизована система керування процесом переробки ПЕТ-виробів складається з наступного обладнання: стрічковий конвеєр 1, резервуар для очищення пляшок 2, розділювальний конвеєр 3, миючий подрібнювач 4, два шнекові вивантажувачі 5 та 7, флотаційна ванна 6, центрифуга 8 та бункер витримки 9. До модулів транспортування відносяться два конвеєри та вивантажувачі; до модулів очищення – резервуар, подрібнювач, флотаційна ванна; до модулю подрібнення – подрібнювач; до модулю сушіння – центрифуга; бункер витримки належить до модулю збереження або/та проміжного модулю.

Автоматизована система має 5 контурів, котрими керує контролер. До першого контуру відносяться: резервуар очищення пляшок 2, мішалка, стрічковий конвеєр 1, клапани подачі луку та гарячої води (1к та 1н, відповідно), клапан виведення брудної води (1р), люк виведення пляшок, датчик рівня пляшок (LE-1а), дисплей відображення інформації даного датчику на місці приладу (LI-1б) та дисплей на операторському щиті (LI-1в), датчик рівня рідини (LE-1г), дисплей відображення інформації цього датчику по місцю приладу (LI-1г) та дисплей на операторському щиті (LI-1д); керуючі засоби, якими можна відкрити або закрити

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

клапани 1к (місцевим вентилям HS-1й, кнопкою NS-1ї на щиті), 1н (місцевим вентилям HS-1м, кнопкою NS-1л на щиті), 1р (місцевим вентилям HS-1п, кнопкою NS-1о на щиті); керуючі засоби, якими можна увімкнути двигун стрічкового конвеєру (місцевою кнопкою HS-1є, кнопкою на щиті NS-1е), мішалки (місцевою кнопкою HS-1з, кнопкою на щиті NS-1ж), люку виведення пляшок (місцевою кнопкою HS-1і, кнопкою на щиті NS-1и).

Другий контур містить: розділювальний конвеєр 3, клапан подачі чистої води (2ж), миючий подрібнювач 4, шнековий вивантажувач 5; керуючі засоби, якими можна увімкнути двигун розділювального конвеєру (місцевою кнопкою HS-2б, кнопкою на щиті NS-2а), подрібнювачу (місцевою кнопкою HS-2г, кнопкою на щиті NS-2в), шнекового вивантажувачу (місцевою кнопкою HS-2д, кнопкою на щиті NS-2г); керуючі засоби, якими можна відкрити/закрити клапан 2ж (місцевою кнопкою HS-2є, кнопкою на щиті NS-2е).

Третій контур: флотаційна ванна 6, датчик рівня води (LE-3а), клапан виведення брудної води (3й), клапан подачі чистої води аналогової дії (3є), давач положення (GE-3ж), шнековий вивантажувач 7; керуючі засоби, що дозволяють увімкнути двигун ванни 6 (місцевою кнопкою HS-3г, кнопкою на щиті NS-3г), шнекового вивантажувача 7 (місцевою кнопкою HS-3к, кнопкою на щиті NS-3й) та відкрити/закрити клапан 3й (місцевим вентилям HS-3ї, кнопкою NS-3і на щиті); керуючі засоби, що дозволяють регулювати ступінь відкриття аналогового клапану 3є (місцевим вентилям HS-3е, восьмипозиційною кнопкою на щиті NS-3д); дисплеї відображення інформації датчика рівня по місцю (LI-3б) і на щиті (LI-3в) та давача положення по місцю (GI-3з) разом з дисплеєм на щиті (GI-3и).

Четвертий контур містить: центрифугу 8, температурний датчик (TE-4а), клапан подачі гарячої пари аналогової дії (4є), давач положення (GE-4ж), витратомір (FE-4і); керуючі засоби, якими можна увімкнути двигун центрифуги (місцевою кнопкою HS-4г, кнопкою на щиті NS-4г); керуючі засоби, якими можна регулювати ступінь відкриття аналогового клапану 4є (місцевим вентилям HS-4е, восьмипозиційною кнопкою на щиті NS-4д); засоби відображення інформації з датчика температури (на дисплеї по місцю – TI-4б, на щиті оператора – TI-4в), да-

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вача положення (дисплей по місцю – GI-4з, на щиті – GI-4и), витратоміру (дисплей по місцю – FI-4ї, на щиті – FI-4й).

Останній, п'ятий контур складається з: бункеру 9, датчику рівня флексу (LE-5а), насосу N1; клапану виведення флексу (5є); засобів відображення інформації датчику рівня (дисплей по місцю – LI-5б, на щиті – LI-5в); засобів керування клапаном 5є (місцевою кнопкою HS-5е, кнопкою на щиті NS-5д) та насосом (місцевою кнопкою HS-5г, кнопкою на щиті NS-5г).

Також на щиті присутні 5 лампочок, кожна з яких відносяться до контуру закріпленого за собою датчику: HL1 – до датчику рівню пляшок у резервуарі (1-й контур), HL2 – до датчику рівню води у резервуарі (1-й контур), HL3 – до датчику рівню води у флотаційній ванні (2-й контур), HL4 – до датчику температури в центрифугі (3-й контур), HL5 – до датчику рівню флексу у бункері (5-й контур).

5.2 Опис функціонування системи

Спочатку пластикові пляшки проходять попередню обробку: вони сортуються за кольором, позбуваються кришечок і наліпок; після цього вони спресовуються, утворюючи своєрідний куб або паралелепіпед масою від 50 кг до 300 кг в залежності від кількості пляшок та сили пресу. Після цього спресовані форми доправляються конвеєром до резервуару з очищення пляшок. Відбувається це наступним чином: натискання на операторському щиті кнопки NS-1е запускає конвеєр, котрим рухаються спресовані пляшки до резервуару.

До резервуару за хвилину потрапить приблизно 100 кг пляшок; кожну секунду датчик рівню пляшок видає значення наповненості резервуару пляшками і при досягненні ними рівню 3,7 м спалахне лампа HL1 на щиті, що свідчитиме про необхідність припинення подачі пляшок. На момент спрацювання даного датчика у резервуарі буде приблизно 100 кг спресованих пляшок.

Також вартий уваги наступний момент: під час відкриття/закриття клапанів та увімкнення/вимкнення двигунів стан усіх пристроїв відображається на дисплеї операторського щиту. Стан кожного елементу системи відображається на дисплеї.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після припинення подачі пляшок відбувається одночасне відкриття клапанів подачі луку (1к) та гарячої води (1н) кнопками на щиті NS-1ї та NS-1л. Гідрооксид натрію подається секунд 40, а вода – 2 хв. Після спрацювання датчика рівня рідини LE-1г (3,8 м) спалахне лампа HL2 і подача води буде припинена. Натисканням кнопки NS-1ж на щиті буде увімкнена мішалка на 6 хв, внаслідок чого пляшки будуть очищуватися від бруду, та клею наліпок. Після припинення перемішування натисканням кнопки NS-1о відкриється клапан виведення брудної води 1р (злив приблизно 3 хв). Датчик рівня рідини поінформує оператора щодо відсутності води у резервуарі, після чого натисканням кнопки NS-1та NS-1ж буде відкрито люк резервуару та знову запущена мішалка (щоб відмиті пляшки рівномірно виходили з резервуару і не було їх простоювань всередині нього). Приблизно за 7 хв усі пляшки покинуть ємність 2, люк зачиниться і відновиться подача спресованих пляшок конвеєром.

Тим часом після відкриття люку запускається розділювальний конвеєр 3 щитовою кнопкою NS-2а, яким чисті пляшки за 10 с (максимальний час) dopravляються до миючого подрібнювача 4, котрий запускається паралельно з конвеєром 3 кнопкою NS-2в на щиті. Також запускається клапан подачі води (2ж) до подрібнювача кнопкою NS-2е та шнековий вивантажувач 5 кнопкою NS-2г. Порція пляшок подрібнюється приблизно 10 с, після чого флекс за 10 с через вивантажувач 5 dopravляється до флотаційної ванни 6, котра вмикається також паралельно з увімкненням вивантажувача 5 кнопкою NS-3г.

Флотаційна ванна заздалегідь наповнена водою і через клапан аналогової дії 3е подається необхідна кількість води, аби компенсувати вилиту воду в результаті очищення флексу. Подача води регулюється восьмипозиційною кнопкою NC-3д на щиті; давач положення GE-3ж показує ступінь відкритості клапану і відправляє інформацію на дисплей щита (GI-3и); один раз за декілька годин кнопкою NS-3і брудна вода спускається через клапан 3й або цей клапан виводить надлишок води у разі спрацювання датчику рівня LE-3а (оператор сповіщується займанням лампи HL3), зафіксувавши висоту води у 1,1 м. Окрім цього, датчик також щосекунди дає інформацію рівня води на операторський дисплей LI-3в.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Паралельно із відкриттям люку резервуару 2 запускається центрифуга 8 кнопкою NS-4г – їй потрібен час для нагріву (100 с); після нагріву запускається шнековий вивантажувач 7 кнопкою NS-3й на щиті. Впродовж 15 – 20 с флекс направляється вивантажувачем до центрифуги 8. Клапаном аналогової дії 4є подається гаряча пара приблизно 120 °С (відкриттям клапану на 80 %) після маніпуляцій з восьмипозиційною кнопкою на щиті NC-4д. Горстка пластикових пластівців проходить через центрифугу не більше ніж за 5 с.

Температурний датчик TE-4а слідкує за температурою і подає вимірне значення на дисплей щита TI-4в. При фіксуванні температури 160 °С займається лампа HL4. Витратомір FE-4і фіксує об'єм пари, що виходить з клапану 4є і передає дані на щитовий дисплей FI-4й.

Після нагріву центрифуги 8 до 120 градусів за 100 с, кнопкою NS-5г вмикається насос вентиляторного типу, котрий за секунди доправляє очищений та висушений флекс у бункер 9. Датчик LE-5а фіксує рівень флексу у бункері і передає значення на дисплей LI-5в щита. Клапан 5є керується кнопкою NS-5д на щиті і відкривається за потреби вивести пластівці у інші ємності або при фіксуванні датчиком значення 2,9 м (також займається лампочка HL5). Цикл переробки ПЕТ-пляшки у флекс завершено. Загалом він триває близько 20 хв.

Таким чином, дана система переробки пластикових пляшок за 1 годину перероблює 300 кг пляшок.

Контролеру ADAM-8000 були підібрані наступні, за кількостями каналів, модулі: аналогового введення – 8 каналів, аналогового виведення – 2 канали, дискретного введення – 16 каналів, дискретного виведення - 21 канал. Такий підбір надав можливість здійснювати усі необхідні маніпуляції на об'єктах керування перероблюваної системи з метою отримання бажаного результату.

Усі керуючі процесом переробки пристрої, обладнання та механізми управляються за допомогою зручного та ергономічного операторського щита; у разі непередбачуваних ситуацій або несправностей щита можливе втручання у роботу системи за допомогою місцевих пристроїв, котрі заздалегідь обладнані керуючими засобами по місцю (вентилі у клапанів, двигуни у обладнання і інших

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механізмів).

Усі двигуни та клапани дискретної дії у даному проекті керуються дискретними сигналами (увімкнути/вимкнути), тому в них використовуються широко поширені двопозиційні регулятори, оскільки вони мають гарну якість регулювання при роботі з інерційними об'єктами із малим запізненням, прості в експлуатації і не вимагають налаштування. Клапани регулюючі (аналогової дії) використовують регулятори, синтезовані методом підпорядкованого регулювання координат (синтез регулятора клапану подачі гарячої пари до центрифуги реалізований у розділі 7); таким чином, на клапан від системи керування приходить аналоговий сигнал (від 0 В до 10 В), котрий відкриває клапан на ту чи іншу ступінь, а регулятор в свою чергу покращує перехідні характеристики цього процесу (відсутність перерегулювання та висока швидкодія).

Отже, розроблена функціональна схема автоматизованої системи керування процесом переробки ПЕТ-виробів дає цілком зрозумілі принципи та засади функціонування як всієї системи загалом так і кожного окремого об'єкту.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ І ОПИС ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

6.1 Витратомір

Витратоміри призначені розраховувати кількість речовини (рідини, газу, пари тощо), що проходить через трубопровід певного розміру. Для визначення цього розміру використовується наступна формула (6.1):

$$D = \sqrt{4Q/\pi W}, \quad (6.1)$$

де Q – витрата продукту, $\text{м}^3/\text{год}$;

W – швидкість продукту, м/с ;

D – внутрішній діаметр трубопроводу, м .

Формула була взята з джерела [6]. У даному дипломному проекті витратомір необхідний для труби, якою подаватиметься гаряча пара; за його допомогою буде визначатись кількість пари, що проходить за певний момент часу. За формулою (6.1) розрахуємо діаметр труби (6.2):

$$D = ((4 \cdot 100)/(3.14 \cdot 0.02 \cdot 3600))^{1/2} \approx 80 \text{ мм}. \quad (6.2)$$

Відповідно до отриманого результату, необхідно обрати такий витратомір, умовний діаметр (D_u) якого був би рівним 80 мм.

Vortex PhD (рисунок 6.1) призначений для вимірів кількості пари, що проходить через трубу за рахунок замірів частоти утворення вихрів, що виникають у потоці при обтіканні нерухомого тіла. Частота утворення вихрів, при виконанні певних умов, прямо пропорційна об'ємній витраті середовища.

Перевагами даного приладу є: нехтовно малі втрати напору, відсутність рухомих частин, висока точність вимірів в широкому діапазоні витрат, відсутність дрейфу нуля, частотний та струмовий вихідні сигнали одночасно, довговічність, відсутність потреби в технічному обслуговуванні. Вся інформація стосовно витратоміру взята з джерела [7]. Технічні характеристики наступні:

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- під'єднання до трубопроводу: фланцеве DIN 2501;
- втрата напору: від 50 мбар до 300 мбар;
- робоча температура середовища: від -40 °С до +400 °С;
- відносна похибка вимірів для пари: $\pm 0,7\%$;
- робочий тиск середовища: до 102 бар при 38 °С, до 70 бар при 400 °С;



Рисунок 6.1 – Вихровий витратомір Vortex PhD [8]

6.2 Давач положення

Датчик положення (він же давач положення) є первинним перетворювачем, котрий призначений для отримання інформації про поточне положення об'єкта. В цьому конкретному проєкті він необхідний для контролю положення позиційних клапанів вхідних трубопроводів. Оскільки клапанів, що регулюються аналоговим сигналом два, то стільки ж потрібно і давачів положення.

Перед вибором датчиків необхідно розрахувати необхідну точність вимірювального пристрою каналу вимірювання в автоматизованій системі. Розраховується максимально допустима для виміру похибка за формулою (6.3):

$$\delta_1 \leq \sqrt{\delta^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2)}, \quad (6.3)$$

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\delta = 0.3\%$ - необхідна сумарна похибка вимірювання каналу вимірювання при довірчій ймовірності 0.95;

δ_2 – похибка передачі по каналу вимірювань;

δ_3 – похибка, що вноситься АЦП;

δ_4 і δ_5 – додаткові похибки, що вносяться відповідно навколишньою температурою та вібрацією.

Для даної системи маємо: $\delta_2 = 0.05$, $\delta_3 = 0.1$, $\delta_4 = 0.09$, $\delta_5 = 0.056$. При підстановці в формулу (6.3) отримуємо (6.4):

$$\delta_1 \leq \sqrt{0.09 - (0.0025 + 0.01 + 0.0081 + 0.00313)} . \quad (6.4)$$

В результаті маємо $\delta_1 \leq 0.257\%$. Таким чином, аби датчик можна було використовувати, його похибка має не перевищувати значення 0.257%.

Оберемо датчик положення типу VPT (рисунок 6.2). Це досить ефективний пристрій для відстежування положення клапана, а стандартний ЖК-дисплей дозволяє оператору відстежувати точне його положення. Моніторинг як лінійного, так і поворотного руху. Може бути використаний у різних сферах людської діяльності, де необхідно відстежувати положення певного регулюючого органу. Використовує опір типу потенціометра для зміни вихідних сигналів опору пропорційних струмовому сигналу, який надсилається на контролер. Відомості щодо датчику положення взяті з джерела [9].



Рисунок 6.2 – Зовнішній вигляд датчику положення VPT [9]

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Має наступні технічні характеристики:

- чутливість: $\pm 0,2\%$ від повної шкали;
- температурний діапазон використання: від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- живлення: від 9 В до 28 В постійного струму;
- вхідний сигнал: від 4 мА до 20 мА;
- клас захисту корпусу: IP67;

Як можна бачити, точність приладу достатньо висока (відносна похибка менша за 0,257%), тому розрахунки робитися не будуть.

6.3 Датчик температури

Датчик температури вимірює температуру у центрифугі, в якій подрібнені пластикові частки проходять етап висушування впродовж декількох секунд. Прилад має мати вибухозахисне, термостійке виконання. Відомості щодо обраного датчику температури взяті з джерела [10].

Рациональним став вибір датчику температури THERMOCONT TS (рисунок 6.3).



Рисунок 6.3 – Датчик температури THERMOCONT TS та світлодіодний дисплей ЭЛМЕТРО-ВиЭР [10]

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчик THERMOCONT TS розрахований на загальнопромислове застосування з різноманітними видами рідин, парів, газових середовищ тощо. Даний тип пристроїв відрізняється від аналогів простотою експлуатації у поєднанні з покращеними технічними характеристиками. Перевагами датчику можна вважати:

- вибухозахисне виконання;
- протиударне виконання;
- спеціальний світлодіодний дисплей для індикації результатів вимірів і стану приладу;
- вимір температури на глибині до 3 м;
- простота встановлення і підключення;
- відсутня необхідність постійного клопіткого догляду та технічного обслуговування;
- підвищений захист корпусу від проникнення пилу та вологи;

Виміри здійснюються шляхом опускання зонду датчику у резервуар, звідки пристрій передає інформацію на електронний перетворювач. Потім перетворювач формує сигнал і передає його до наступного підключеного пристрою за ієрархією (контролер, операторський щит).

Основні технічні характеристики температурного датчику THERMOCONT TS:

- у якості вимірювального пристрою може використовуватися термометр опору Pt100 або термопара J, K;
- сумісна температура робочого процесу: від -50 °C до +600 °C;
- сумісний тиск робочого процесу: до 25 бар;
- довжина вимірювального елемента: від 60 мм до 4000 мм;
- вихід керування: струмовий від 4 мА до 20 мА, 2 перемикачі PNP;
- напруга живлення: від 10 В до 36 В DC (постійний струм);
- температура зовнішнього середовища: від -20 °C до +80 °C;
- клас захисту: IP67;
- точність вимірів: $\pm 0,2\%$.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точність вимірів не перевищує попередньо розраховане значення 0,257%, тому прилад підходить для використання.

Дисплей, що йде у комплекті з датчиком температури, володіє діагоналлю 264 мм зі світлодіодним підсвіченням, має вибухозахисне та загальнопромислове виконання, має високу швидкодію, здатний передавати інформацію через інтерфейси RS-485, RS-232, Ethernet.

6.4 Датчики рівня

Датчик рівня суміші є досить важливою складовою, оскільки він фіксує певний рівень речовини у резервуарі і дає візуалізацію значення операторові та відсилає данні на контролер системи.

Датчик використовуватиметься в першому резервуарі у лужному середовищі з високою температурою, тому він має бути стійким у високотемпературних хімічних середовищах.

Для вимірювання рівня пляшок у резервуарі підійде мікрохвильовий датчик PiloTrek W-100 – він не взаємодіє зі вмістом ємності фізично, тому не отримуватиме температурного та хімічного впливу від гарячої води з гідроксидом натрію. Був обраний саме цей датчик, оскільки цільове середовище виміру є нестандартним – спресовані пластикові пляшки. PiloTrek W-100 сигналізує оператора за пультом у разі досягання пляшками рівня у 3,7 м та коли резервуар їх позбувається. Окрім цього він щосекунди робить заміри рівня пластикової продукції і демонструє результати на своєму дисплеї та на панелі оператора. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 6.4. Вся інформація стосовно обраного датчику належить джерелу [11].

Технічні характеристики:

- постійне джерело живлення: від 20 В до 36 В;
- частота: від 24 ГГц до 125 ГГц;
- точність вимірів: ± 3 мм;
- діапазон вимірів: від 0.2 м до 23 м;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- температура середовища: від -30 °С до +180 °С;
- дисплей SAP-300;
- рупорна та стержнева антени;
- вибухозахисне виконання;

Точність виміру датчика ± 3 мм, отже його відносна похибка для заданого резервуару обчислюватиметься за наступною формулою:

$$\delta_{\text{відн}} = \frac{\Delta x}{x_d}, \quad (6.5)$$

де Δx – абсолютна похибка;

x_d – дійсна величина вимірюваного об'єкту (у цьому проекті – 4 м).

Отже, маємо рівняння (6.6):

$$\frac{3}{3000} \cdot 100\% = 0,00075 \cdot 100\% = 0,075\%. \quad (6.6)$$

Це значення менше, ніж 0.257%, тому вибір приладу є дозволим.



Рисунок 6.4 – Мікрохвильовий рівнемір PiloTrek W-100 [11]

Для виміру рівня рідини доцільно обрати вимірювач ємнісного типу, оскільки його робота побудована на принципі оцінки рівня рідини у резервуарі за

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою вимірювання електричної ємності свого датчика. Для цієї мети був обраний датчик NivoCap (рисунок 6.5). Такий самий пристрій використовуватиметься для виміру рівня води у флотаційній ванні.



Рисунок 6.5 – Ємнісний датчик NivoCap [12]

Пристрій матиме спеціальний зонд, що занурюватиметься у рідину і видаватиме результат вимірів, орієнтуючись на різницю ємностей на кінці зонду та на границі розділу середовищ (в даному випадку – повітря та рідини).

Прилад призначений для різного роду речовин – як рідин, так і сипучих матеріалів; здатний працювати у високотемпературних та хімічних середовищах, надає економічне рішення для подібного роду задач. Працює на двопроводовій схемі. Особливістю даного датчика є те, що його треба «навчити» роботі в цільовому середовищі виміру, зафіксувавши дві контрольні точки рівня рідини. Інформація про прилад взята з джерела [12]. Детальніші технічні характеристики:

- високий поріг чутливості;
- можливість програмування на місці;
- невелика інерційність приладу;
- живлення: від 12 В до 36 В постійного струму;
- температура середовища: від -25 °С до +70 °С;
- температура процесу: : від -30 °С до +200 °С;
- граничний тиск: 40 бар;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вихід: від 4 мА до 20 мА;
- точність: ± 5 мм;
- діапазон вимірів: від 0.2 м до 20 м;
- вибухозахисне виконання.

Користуючись вище наведеними даними, визначаємо точність датчику NivoCap. Точність виміру датчика ± 5 мм, отже його відносна похибка для заданого резервуару (6.7):

$$\frac{5}{3000} \cdot 100\% = 0,00125 \cdot 100\% = 0,125\% . \quad (6.7)$$

Це значення менше, ніж 0.257%, тому вибір приладу є дозволеним.

6.5 Двигуни

У даному дипломному проєкті двигуни керують запуском обладнання та його відімкненням. До такого обладнання належать: конвеєрна стрічка, розділювальний конвеєр, миючий подрібнювач, шнекові вивантажувачі, флотаційна ванна, центрифуга, автоматизований люк резервуару, насос, мішалка. Усі модулі здатні запускатися та вимикатися з операторського щиту кнопкою.

Майже все вищеназване обладнання має власні двигуни, котрі були встановлені виробником в процесі виготовлення, окрім люку резервуару та мішалки, до яких буде підібраний спеціальний механізм. У якості керуючого механізму люком резервуару був обраний привод AD-SWING (рисунок 6.6).

Даний механізм призначений для автоматизації дверей з масою стулки до 200 кг і шириною до 2 м. Має функцію регулювання швидкості відкривання дверей від 3 с до 10 с, простий та зручний монтаж до стінки приміщення або резервуару, три режими роботи (автоматичний, напіваавтоматичний та аварійний), можливість підключення додаткових приладів керування та безпеки (датчики, камери спостереження, Wi-Fi модуль для дистанційного керування, GSM-модуль

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тощо). Внутрішня будова приводу на рисунку 6.7.



Рисунок 6.6 – Електромеханічний привод важільного типу серії AD-SWING [13]

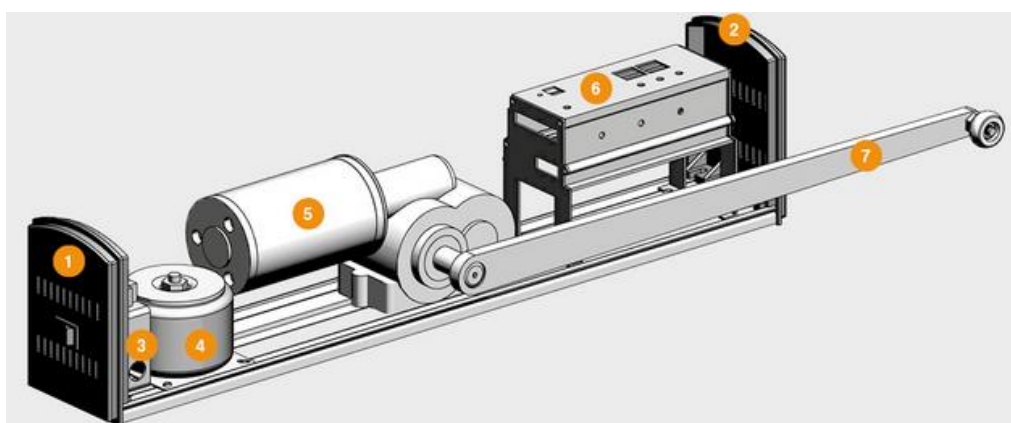


Рисунок 6.7 – Внутрішня будова приводу AD-SWING [13]

Цифрами від 1 до 7 позначені основні складові механізму керування люків та дверей: 1 – кришка лівої частини, 2 – кришка правої частини, 3 – введення кабелю живлення 220 В, 4 – трансформатор, 5 – двигун на 24 В, 6 – контролер, 7 – тяга.

Як можна бачити, привод живиться від мережі від 200 В до 250 В, а двигуну достатньо 24 В напруги; клас захисту механізму – IP12, діапазон робочих температур – від -20 °С до +55 °С.

Привод кріпитиметься зовні резервуару і відкриватиме назовні люк вагою не більше 100 кг і радіусом 20 см для того, щоб відмиті пляшки могли покинути резервуар та потрапити на розділювальний конвеєр. Усі відомості з джерела [13].

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для того, аби підібрати двигун для мішалки, необхідно спочатку вирішити, якою буде сама мішалка. Необхідно перемішувати велику кількість пляшок у резервуарі з приблизним об'ємом $6,6 \text{ м}^3$ разом із гарячою водою та гідрооксидом натрію. Швидкість при цьому буде невеликою – близько 20 об/хв.. Необхідно, аби була наявність широких та чисельних лопатей, аби гарно змішати ПЕТ-пляшки з реагентом. Для даних цілей буде раціонально обрати вертикальну лопасну мішалку. Вона гарно підходить для змішування при невеликій кількості оборотів валу з лопатями, а самі лопаті можуть бути різного січення і хаотично розташованими відносно осі обертання. Висота осі обертання – 3 м, а кількість лопатей – 9 (по 3 в три вертикальні ряди).

Після обрання мішалки можна переходити до вибору двигуна для неї. Для описаних умов доцільно обрати наступний електродвигун: АИР 100 L2 (рисунок 6.8).



Рисунок 6.8 – Електродвигун АИР 100 L2 [14]

Технічні характеристики даного двигуна наступні:

- напруга: 220/380 В, 50 Гц – 3 фази;
- максимальна частота обертів: 3000 об/хв;
- максимальна потужність: 5,5 кВт;
- діаметр валу: 28 мм;
- клас захисту: IP54;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- маса: 33 кг;
- матеріал виготовлення: чавун;
- ККД електродвигуна: 84,8 %;
- температура навколишнього середовища: від -45 °С до +40 °С;
- відносна вологість 100 % при 25 °С;
- схема з'єднання обмоток: зірка-трикутник;
- монтажне виконання: на лапах.

Електродвигун АИР 100 L2 є асинхронним, застосовується на промислових і виробничих підприємствах у якості приводу різного обладнання, що використовується у виробничих або будівничих цілях. Максимальна потужність – 5,5 кВт, проте у цьому проекті швидкість обертання буде значно нижче за 3600 об/хв, тому і споживання потужності буде дуже малим (менше за 0,1 кВт). Усі відомості щодо даного двигуна були взяті з джерела [14].

Інше обладнання, що було перераховане в першому абзаці цього розділу, має власні двигуни, котрі будуть під'єднуватися до контролера і від нього ж керуватися на запуск або відключення.

6.6 Дисплей

Дисплей керування розташовується на операторському щиті управління. Він демонструє операторові значення рівня відкриття двох клапанів аналогової дії, відкритість або закритість шести дискретних клапанів, увімкненість чи вимкненість двигунів модулів, мішалки, насосу, покази датчиків. Була обрана модель ТРС-1261Н виробника Advantech (рисунок 6.9). Обраний дисплей стійкий до впливу зовнішнього середовища та буде вмонтований в щит керування. Таке рішення дозволяє отримувати повну інформацію щодо стану системи переробки ПЕТ-виробів в одному місці.

Дисплей TFT з діагоналлю 12,1 дюймів (розміри такі: 310 мм x 235 мм x 56 мм) зі здатністю 800 точок x 600 точок є сенсорним, має яскравість 340 кд/м² з контрастністю 300:1.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 6.9 – Сенсорний дисплей TPC-1261H Advantech [15]

Детальніші технічні характеристики наступні:

- кут огляду по горизонталі/вертикалі: 100 °/60 °;
- резистивний сенсорний екран;
- процесор: AMD LX800 500 МГц;
- ОЗП: 256 Мб DDR SDRAM (до 1 Гб опціонально);
- накопичувачі: 1xCompactFlash або 1x2,5 HDD (опціонально);
- порт Ethernet: 1x10/100 Base-T;
- порти вводу-виводу: 1 параллельный порт, 3 порти RS-232, 1порт RS-232/422/485, 2 порти USB 2.0, порт PS/2 клавіатури та миші;
- слоти розширення: 1 - CompactFlash\; 1 - PCI-104;
- клас захисту передньої панелі: IP65;
- напруга живлення: від 18 В до 32 В постійної напруги;
- споживана потужність: 60 Вт;
- габаритні розміри: висота – 237 мм, довжина – 311 мм, ширина – 50 мм;
- діапазон робочих температур: від 0 °С до +50 °С.

Таким чином, дисплей виконуватиме важливу функцію інформування оператора щодо стану системи завдяки показам з датчиків, інформації щодо закритості/відкритості клапанів та увімкненості/вимкненості двигунів. Уся інформація щодо даного сенсорного дисплею була взята з інтернет-джерела [16].

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.7 Керуючі клапани

Автоматизована система керування у цьому курсовому проекті містить 8 клапанів – 2 з них зі змінною пропускною здатністю, інші 6 мають лише два стани: або повністю відкритий або повністю закритий.

Спочатку слід розрахувати діаметр труби, якою йтиме гаряча вода у перший резервуар та якою виходитиме з нього. За формулою (6.1) обчислюємо (6.8):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 90}{3,14 \cdot 1 \cdot 3600}} = 180 \text{ (мм)}. \quad (6.8)$$

Отже, треба використовувати трубу діаметром 200 мм і щоб вона мала наступні характеристики: висока надійність, стійкість до високотемпературного хімічного середовища, антикорозійність матеріалу, довговічність, легкість у догляді та експлуатації. Таким вимогам відповідає спеціальна поліетиленова труба з Ду200 від компанії HeatPex. Усі труби виготовлені з нержавіючої сталі і матимуть розміри, що розраховані за формулою (6.1) для кожного клапану.

Також відповідно до вимог підбираємо запорно-регулюючий односідельний клапан з внутрішнім діаметром у 200 мм – 25ч945п Ду200 (рисунок 6.10):



Рисунок 6.10 – Клапан 25ч945п [17]

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип з'єднання – фланцеве; має додаткове фторопластове ущільнення. Клапан запірно-регулюючий односідельний 25ч945п є універсальним в експлуатації, так як використовується як для автоматичного регулювання теплових процесів, так і в системах водопостачання, харчових рідинах. Технічні характеристики наступні:

- тиск: від 16 МПа до 25 МПа;
- температура робочого середовища: від -15 °С до +150 °С;
- робоче середовище: рідке або газоподібне;
- тип приводу: електропривод ST;
- матеріал корпусу: нержавіюча сталь;
- клас захисту механізмів: IP65;
- живлення: однофазна напруга 220 В, 50 Гц;
- рівень вихідного аналогового сигналу: від 4 мА до 20 мА.

Явними перевагами цього клапану можна вважати:

- завдяки фторопластовому ущільненню в затворі у клапані досягається необхідна герметичність в положенні «закрито»;
- технологічність;
- високий рівень надійності.

Керування клапаном здійснюється за допомогою електричного виконавчого механізму. Принцип роботи клапану заснований на зміні розрізу прохідного отвору та витрати середовища, котре проходить через корпус клапану, в залежності від переміщення затвору. Уся інформація про даний клапан була взята з джерела [18].

Таким чином, клапан зі змінною пропускною здатністю, котрий подає гарячу воду у перший резервуар буде клапаном моделі 25ч945п. Цей клапан також використовуватиметься і при заборі води з резервуару, тільки він буде запрограмований на дискретну дію і буде нормально відкритим.

Тепер слід обрати дискретний клапан для подачі гідрооксиду натрію (лугу) у резервуар. Подача хімічного порошку буде нетривалою та у невеликій кількості, але при цьому клапан і труба мають бути хімічно витривалими.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою (6.1) обчислюємо діаметр клапану (6.9):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,2 \cdot 3600}} = 70 \text{ (мм)}. \quad (6.9)$$

Загальноприйнятими найближчими розмірами до 70 мм є DN65 та DN80 (65 мм та 80 мм відповідно), тому буде обрано другий варіант з 80 мм діаметром.

Дискретний нормально закритий клапан, котрим відбувається подача лугу, буде керуватися подачею дискретного сигналу – або логічної одиниці (максимально високий рівень сигналу), або логічного нуля (максимально низький рівень сигналу). Доцільним є вибір електромагнітного чавунного клапану АСТА Р01/04 Ду80 (рисунок 6.11). Інформація про клапан взята з джерела [19]. Він гарно захищений від впливу високих температур, корозії, кислотних та лугових реагентів. Ним подаватиметься гідрооксид натрію у вигляді порошку; у такому стані дана хімічна речовина є безпечною та ніяким чином не впливатиме на трубу.



Рисунок 6.11 – Електромагнітний чавунний клапан АСТА Р01/04 [19]

Тип керування клапаном – пілотний, тобто сигнал надходить із зовнішнього пристрою (у цьому дипломному проекті – від контролера). Інші технічні характеристики:

- тиск: від 10 бар до 24 бар;
- температура робочого середовища: від -10 °С до +80 °С;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- робоче середовище: рідке або газоподібне;
- час відкриття: від 200 мс до 1500 мс;
- час закриття: від 500 мс до 2000 мс;
- матеріал корпусу: чавун;
- клас захисту механізмів: IP 65;
- живлення: 230/110/48/24/12 В АС (змінний струм) або DC (постійний струм);
- рівень вихідного аналогового сигналу: від 4 мА до 20 мА.

Обираємо дискретний нормально закритий клапан для миючого подрібнювача. Він подає відносно невелику кількість води, котра додатково очищує пляшки та дозволяє збільшити термін служіння подрібнюючих лез.

За формулою (6.1) обчислюємо діаметр клапану (6.10):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 3600}} = 30 \text{ (мм)}. \quad (6.10)$$

Даний розмір не відноситься до типових, тому візьмемо найближчий загальноприйнятий – 32 мм. Даним клапаном буде постачатися вода, тому особливих експлуатаційних вимог до нього не висунуто окрім антикорозійного покриття. Таким умовам задовольняє модель АСТА Р11 DN32 (рисунок 6.12).

Пристрій може працювати з холодною, гарячою або перегрітою водою, стисненим повітрям та іншими неагресивними середовищами. Інші технічні характеристики наведені нижче:

- температура навколишнього середовища: від -20 °С до +70 °С;
- робоча температура: від -10 °С до +200 °С;
- матеріал виготовлення: нержавіюча сталь;
- клас захисту механізмів: IP 65;
- електропривод: ST 0 REGADA;
- живлення: 230 В змінного струму;
- рівень вихідного аналогового сигналу: від 4 мА до 20 мА.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 6.12 – Односідельний двоходовий клапан АСТА Р11 DN32 [20]

Даний клапан також застосовуватиметься у бункері зберігання флексу завдяки своїй простоті, невибагливості та підходящим розмірам. Клапан випускатиме пластикові готові частки до інших ємностей, що призначені для подальшої обробки та/або використання крихт, та буде нормально відкритим. Інформація була взята з джерела [20].

Розрахуємо діаметр для нормально закритого аналогового клапану, котрий буде подавати воду до флотаційної ванни. Обчислюємо діаметр клапану (6.11):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 6}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 3600}} = 73 \text{ (мм)}. \quad (6.11)$$

Найближчий типорозмір – 80 мм. Відштовхуючись від результату розрахунку, для зливу води з ванни оберемо дискретний нормально відкритий клапан діаметром 90 мм (наступний по величині типорозмір) щоб злив був швидшим за наповнення ванни.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Клапани мають бути стійкими до корозії та нормально реагувати з холодною водою. Моделі V25 DN80 та V25 DN90 цілком відповідають висунутим вимогам (рисунок 6.13) та взяті з джерела [21].



Рисунок 6.13 – Прямоходовий регулюючий клапан V25 (DN80 та DN90) [21]

Пристрій широко використовується у більшості технологічних середовищ: холодна, гаряча, перегріта вода, водяна пара, повітря та інші неагресивні рідини і гази. Може керуватися як аналоговим сигналом (певна ступінь відкриття), так і дискретним (або клапан відкритий, або закритий). Детальніші технічні характеристики:

- тип електроприводу: EL;
- матеріал: нержавіюча сталь;
- тиск: PN16/PN40;
- під'єднання: фланцеве;
- температура середовища: від -20 °C до +70 °C;
- температура робоча: від -5 °C до +220 °C;
- рівень вихідного аналогового сигналу: від 4 мА до 20 мА.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Клапан, котрий керуватиме подачею пари до центрифуги, має бути стійким до високих температур, надійним та довговічним. За формулою (6.1) розрахуємо діаметр приладу (6.12):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 30}{3,14 \cdot 40 \cdot 3600}} = 16 \text{ (мм)}. \quad (6.12)$$

Доцільно обрати електромагнітний клапан моделі VUG DN20 (рисунок 6.14) з інтернет-ресурсу [22]. Клапан використовує привод AUMA SA 07.6 (рисунок 6.15), що керує регулюючими клапанами та має наступну базову комплектацію: електродвигун, черв'ячний редуктор, блок вимикачів, ручний маховик.



Рисунок 6.14 – Регулюючий нормально закритий клапан VUG DN20 [22]



Рисунок 6.15 – Електропривод AUMA SA 07.6 з класом захисту IP68 [23]

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Привод керується струмом від 4 мА до 20 мА, потужність – 0,12 кВт з частотою обертання мотору 2800 об/хв, номінальний струм мотору – 0,7 А; може використовуватися при температурі навколишнього середовища від -40 °С до +50 °С. Електричний клас захисту – IP68. Має датчик положення арматури, датчик моменту MWG, запірний пристрій для ручного маховика, вибухозахисне виконання. Інформація про привод взята, як і рисунок, з ресурсу [23].

Сам клапан має наступні технічні характеристики:

- здатний регулювати безперервно гарячу, теплу або холодну воду, пару чи повітря;
- під'єднання: фланцеве;
- робоча температура: від +10 °С до +240 °С;
- робочий тиск: до 120 °С – 25 бар, до 240 °С – 20 бар;
- хід клапану: 20 мм;
- умовні об'ємні витрати пари через повністю відкритий клапан у м³/год при перепаді тисків 1 бар при нормальних умовах: 15 м³/год.

6.8 Контролер

6.8.1 Базовий блок

Завдання автоматизації системи управління процесом переробки ПЕТ-виробів передбачає обробку контролером у тому чи іншому вигляді (індикація, керуючий вплив) різних аналогових та дискретних сигналів від датчиків первинної обробки, а також видачі сигналів управління. Обраний контролер має оперувати наступними сигналами:

- 1) аналогові сигнали від датчиків рівня пляшок у резервуарі, рівня води з лугом у резервуарі, рівня води у флотаційній ванні, температури у центрифугі, рівня наповненості бункеру витримки флексом (5 вхідних аналогових каналів);
- 2) аналогові сигнали від двох давачів: ступеню відкритості того клапану,

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що подає води до флотаційної ванни та ступеню відкритості клапану, який регулює подачу гарячої пари до центрифуги (2 вхідні аналогові канали);

3) аналоговий сигнал від витратоміру, котрий робить замір об'єму гарячої пари, що проходить через нього до центрифуги (1 вхідний аналоговий канал);

4) аналогові керуючі сигнали від операторського щита, які керують степенями відкриття двох клапанів аналогової дії (2 вихідні аналогові канали);

5) дискретні керуючі сигнали, що надходять від операторського щита і котрі вмикають/вимикають двигуни наступного обладнання: стрічкового конвеєру, розділювального конвеєру, миючого подрібнювачу, двох шнекових вивантажувачів, флотаційної ванни та центрифуги (7 вихідних дискретних каналів);

6) дискретні керуючі сигнали, що надходять від щита і котрі вмикають/вимикають двигуни наступних механізмів: мішалки, резервуарного люку та насосу (3 вихідні дискретні канали);

7) дискретні керуючі сигнали, що надходять від щита і котрі керують відкриттям/закриттям наступних клапанів дискретної дії: подачі гідрооксиду натрію до резервуару, подачі гарячої води до резервуару, виведення брудної води з резервуару, подачі води до подрібнювача, виведення води з флотаційної ванни, виведення флексу з бункеру витримки (6 вихідних дискретних каналів);

8) дискретні сигнали, що посиляє контролер п'ятьом лампам на операторському щиті у випадку фіксування датчиками певних критичних значень (5 вихідних дискретних каналів);

9) дискретні сигнали, котрі надсилають вищеназвані двигуни обладнань та механізмів з метою інформування контролера про свій стан (відкритість/закритість), котрий контролер відображає оператору через дисплей на щиті (16 вхідних дискретних каналів).

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, обраний контролер має здійснювати обробку 8-ми вхідних аналогових каналів, 2-х вихідних аналогових каналів, 16-ти вхідних дискретних каналів та 21-го вихідного дискретного каналу.

У якості керуючого контролера був обраний контролер фірми Advantech, а саме – модель серії ADAM-8000 (рисунок 6.16). Цей пристрій являє собою PC сумісний мікроконтролер, що призначений для створення на його основі автономних систем збору даних та управління. Може використовуватися в промислових системах з підвищеними вимогами до часових параметрів контурів управління. Працює у мережах Profibus, CANopen, DeviceNet, Ethernet (Modbus/TCP) [24].



Рисунок 6.16 – Контролер серії ADAM-8000 [25]

Контролер складається з двох частин: базового блоку та модулів введення-виведення, що свідчить про його гнучкість та адаптивність під потреби проєктованих систем, і дозволяє підібрати необхідні модулі якнайзручніше відповідно до заявленої кількості аналогових та дискретних каналів. Температурні діапазони роботи приладу наступні:

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- робоча температура: від 0 °С до +55 °С;
- температура середовища: від -40 °С до +85 °С.

У якості базового блоку виступає процесор із самостійним PLC контролером ADAM8214-1BA02; він споживає 24 В напруги постійного струму, максимальний струм - 1,5 А. Розмір робочої пам'яті – 32 Кб, завантаження пам'яті – 40 Кб. Присутній годинник реального часу, таймер/лічильник – 128/256. Час циклу слів – 0,78 мс, час передачі біту – 0,18 мс. Один контролер може керувати до 1024-ма входами/виходами. Інформація про головний модуль контролеру та рисунок 6.16 були взяті з джерела [25].

6.8.2 Модуль аналогового введення

У якості модулю аналогового введення був обраний модуль ADAM8231-1BF00, котрий має 8 аналогових входів. Усі входи будуть задіяні, оскільки ними будуть передаватися сигнали від чотирьох датчиків рівнів, одного температурного датчику, двох давачів рівнів та одного витратоміру. Детальніша характеристика даного модулю наступна:

- кількість каналів: 8 або 4;
- вхідні дані: 16 байт;
- роздільність (перетворення аналогового сигналу в цифровий): 16 біт;
- вхідний опір: більше 1 МОм;
- час інтегрування: 80 мс;
- вхідний діапазон: від 0 мВ до 60 мВ.

6.8.3 Модуль аналогового виведення

Модулем аналогового виведення був обраний модуль ADAM8232-1BD50. Через нього проходитимуть керуючі сигнали від операторського щита, які керують степенями відкриття двох клапанів аналогової дії (всього 2 канали). Детальніша характеристика даного модулю наступна:

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- кількість каналів: 4;
- вихідні дані: 4 байти;
- роздільність: 12 біт;
- напруга живлення: 24 В постійного струму;
- вихідний діапазон: від 0 до 10 В, +/-10 В, від 1 до 5 В, від 0 до 20 мА, від 4 до 20 мА, +/- 20 мА.

6.8.4 Модуль дискретного введення

Модулем дискретного введення став 16-ти входовий модуль ADAM8221-1BH10. Усі входи будуть задіяні: на них надходитимуть сигнали від двигунів обладнань та механізмів з метою інформування контролера про свій стан (відкритість/закритість), котрий контролер потім відобразить оператору через дисплей на щиті. Детальніші характеристики:

- вхідна напруга: 24 В;
- кількість каналів: 16;
- оптична ізоляція: 500 В постійної напруги;
- вхідні дані: 2 байти;
- вхідна напруга для «1»: від 15 до 30 В постійної напруги;
- вхідна напруга для «0»: від 0 до 5 В постійної напруги;
- час затримки: 3 мс.

6.8.5 Модуль дискретного виведення

У якості модуля дискретного виведення представлений зразок ADAM8222-2BL10 з 32-ма входами. Для даної системи необхідно використати лише 21 вхід: керуючі сигнали до клапанів аналогової дії, двигунів обладнань і механізмів та до п'яти ламп на щиті. Характеристики наступні:

- напруга живлення: 24 В;
- кількість каналів: 32;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вихідний струм на канал: 1 А;
- оптична ізоляція: 500 В постійного струму;
- вихідні дані: 4 байти;
- ізольованих каналів у групі: 16;
- максимальний сумарний струм: 10 А.

Таким чином, контролер серії ADAM-8000 забезпечує надійне, високошвидкісне, якісне та економічно доцільне з'єднання виконавчих об'єктів системи та операторського щита. Модулі введення/виведення надають потрібну кількість каналів для реалізації обміну необхідної інформації між основними ланками автоматизованої системи. Усі дані стосовно модулів введення-виведення були взяті з джерела [25].

6.9 Насос

Насос у даному проєкті перекачує висушений флекс з центрифуги до бункеру. Для цієї задачі підійде вентилятор для пневмотранспорту від виробничо-конструкторського об'єднання «Станок +» підприємства «Основа-Т» (рисунок 6.17).



Рисунок 6.17 – Вентилятор для пневмотранспорту [26]

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний пристрій призначений для транспортування пластикового флексу трубопроводом до бункеру витримки. Технічні характеристики наступні:

- тип конструкції промислового вентилятору: радіальний (відцентровий);
- продуктивність: 3000 м³/год;
- частота обертання: 3000 об/хв.;
- напруга мережі: від 380 В до 400 В;
- вага: 65 кг.

Зазначений прилад спеціально розроблений для швидкого транспортування сипучих матеріалів і в даному проекті виконує функцію насоса, викачуючи флекс з центрифуги і доправляючи його до бункеру витримки. Усі характеристики задовільні і підходять під вимоги системи. Дані стосовно насоса були взяті з джерела [26].

Таким чином, у даному розділі дипломного проекту були підібрані та обгрунтовані усі необхідні засоби автоматизації процесу переробки ПЕТ-виробів: датчики рівнів та температури, давачі рівнів, витратомір, клапани аналогової та дискретної дії, насос, двигуни пристроїв, контролер та операторський дисплей. При цьому до приладів були висунуті певні вимоги, котрі мали вирішальну роль під час обрання того чи іншого засобу автоматизації. Під час вибору клапанів, їх електроприводи мали різних виробників, проте усі вони в контексті автоматизування клапанів (передача, прийом, перетворення сигналів і т.д.) виконують свої функції однаково якісно і мають майже ідентичні характеристики з електричним приводом AVM 234S.

В результаті були визначені пристрої, котрі безпосередньо впливають на діяльність системи переробки ПЕТ-виробів, контролер, який за допомогою своїх модулів здійснює усі необхідні операції по прийому, передачі та обробці сигналів, та операторський дисплей – надає операторові можливість відстежувати стан системи у режимі реального часу і, відповідно, впливати на неї за рахунок керуючих органів на щиті управління.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

7.1 Моделювання клапану постачання гарячої пари

За постачання гарячої пари до центрифуги відповідальним є регулюючий клапан VUG DN20. За допомогою вхідних аналогових сигналів електропривод клапану змінює положення штоку клапану. Внаслідок цього змінюється отвір, яким пара надходить до центрифуги з метою швидкого сушіння пластикового флексу.

У даному розділі будуть розроблені схеми, котрі описують два основні процеси: перетворення вхідної напруги (від 0 В до 10 В) у відповідне положення клапану та регулювання тиску пари на виході клапану. На основі схем будуть визначені передатні функції усіх функціональних елементів систем регулювання тиску пари та регулювання ступені відкритості клапану. Інформація даного розділу була частково взята з джерела [27]. Інформація про шток - з джерела [28].

Система, що регулює тиск гарячої пари містить:

- інтелектуальний позиціонер ІП (є елементом блоку керування електричним приводом, котрий керує клапаном);
- мотор-редуктор МР (суміщені електропривод з редуктором);
- шток ІШ (елемент, що здійснює передачу поступального зусилля від приводу до регулюючого елемента [28]);
- клапан КЛ (змінює власну пропускну здатність).

Будова системи взята з джерела [29]. Таблиця 7.1 містить параметри для аналізу процесу зміни положення клапану та відповідного ступеню тиску.

Таблиця 7.1 – Параметри технологічного режиму

Параметр	Значення
Тиск пари максимальний	2,5 кг/см ²
Тиск пари номінальний	2,028 кг/см ²

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Продовження таблиці 7.1

Положення (хід) штоку при максимальному тиску	20 мм
Положення (хід) штоку при номінальному тиску	16,224 мм
Час повного ходу штоку (на 20 мм)	40 с

Виходячи з визначених параметрів, функціональна схема об'єкту керування буде мати наступний вигляд (рисунок 7.1):

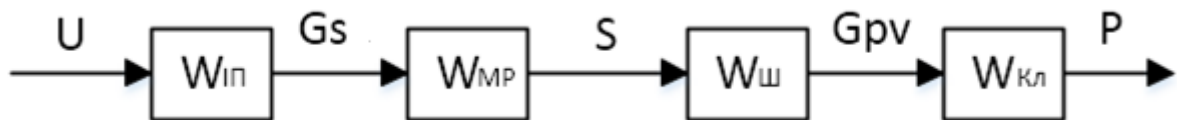


Рисунок 7.1 – Функціональна схема об'єкту керування

На вхід інтелектуального позиціонера ІП поступає сигнал певної величини у вигляді напруги U (від 0 В до 10 В). Вихідним значенням ІП є визначене у міліметрах положення штоку (G_s), що пропорційне амплітуді сигналу керування U . Таким чином, при подачі 10 В на вхід ІП, на його виході буде отримано значення 20 мм – задане положення штоку G_s , яке подасться на вхід мотор-редуктору МР.

Мотор-редуктор на вихід видає швидкість обертання валу S черв'ячної передачі, котра приводиться у рух мотор-редуктором. У структурній схемі даний елемент враховує інерційність електроприводу та вибірку люфту (зазор, який утворюється між механічними елементами клапану), що прирівняні до одиниці, при розгоні саме до номінальних обертів, а не конкретне значення швидкості обертання.

Мотор-редуктор приводить у рух шток ІІІ, котрий подає у якості вихідного значення положення цього штоку в міліметрах (G_{pv}) на клапан Кл.

Клапан Кл у якості вихідного значення видає ступінь тиску клапану (Р), котра пропорційна ступені відкриття клапану, тобто фактичному положенню штоку з плунжером (G_{PV}).

Інтелектуальний позиціонер – це обчислювальний пристрій, що призначений для формування значення положення штоку на основі вхідного значення напруги, тому він може бути описаним передатною функцією безінерційної ланки $W(s) = K$ [30]. Тепер необхідно знайти значення коефіцієнту К передатної функції інтелектуального позиціонера за формулою (7.1):

$$K_{\text{ш}} = \frac{G_s}{U} = \frac{20}{10} = 2 \left(\frac{\text{мм}}{\text{В}} \right), \quad (7.1)$$

де G_s – задане положення штоку у мм;

U – сигнал керування у В.

Передавальна функція мотор-редуктора буде представлена у якості аперіодичного ланцюга першого порядку – так само і передавальна функція клапану. Ця функція має наступний вигляд (7.2):

$$W = \frac{K}{Ts + 1}, \quad (7.2)$$

де К – коефіцієнт передачі об'єкту;

T – постійна часу об'єкту.

Як було зазначено вище, мотор-редуктор враховує інерційність електроприводу та вибірку люфту (ці два параметри прирівняні до одиниці), при розгоні саме до номінальних обертів, а не конкретне значення швидкості обертання. Тому К дорівнює $K_{\text{МР}}$, котрий рівний 1. Постійна часу МР визначається як третина часу виходу на номінальні оберти з даним навантаженням, звідки випливає, що Т дорівнює $T_{\text{МР}}$, котра має значення 0,11 с.

Після визначення значень коефіцієнтів передавальної функції, можна записати її у новому вигляді (7.3):

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W = \frac{1}{0,11s + 1} . \quad (7.3)$$

Час задати передавальну функцію штоку та визначити її параметри. Цей пристрій буде описаний передавальною функцією ідеального інтегруючого ланцюгу виду (7.4):

$$W_{\text{ш}} = \frac{1}{T_{\text{ш}}s} , \quad (7.4)$$

де $T_{\text{ш}}$ – постійна часу штоку, що визначається з паспорту обраного клапану як значення часу повного ходу штоку. У даному випадку вона дорівнює 40 с (див. таблицю 7.1). Тоді передавальна функція штоку набуває вигляду (7.5):

$$W_{\text{ш}} = \frac{1}{40s} . \quad (7.5)$$

Переходимо до визначення передавальної функції клапану. Вона представлена загальною формулою (7.2). Визначаємо коефіцієнт передачі за формулою (7.6):

$$K_{\text{кл}} = \frac{P}{G_{\text{PV}}} = \frac{2,5}{20} = 0,125 \left(\frac{\text{кг/см}^2}{\text{мм}} \right), \quad (7.6)$$

де P – тиск на виході клапану;

G_{PV} – фактичне положення штоку у міліметрах.

Приймаємо постійну часу клапану (T) як 6 с. Передавальна функція клапану набуде остаточного вигляду (7.7):

$$W_{\text{кл}} = \frac{0,125}{6s + 1} . \quad (7.7)$$

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі передавальні функції елементів функціональної схеми були визначені. Тепер час переходити до структурної схеми, котра міститиме усі функціональні елементи системи регулювання (рисунок 7.2):

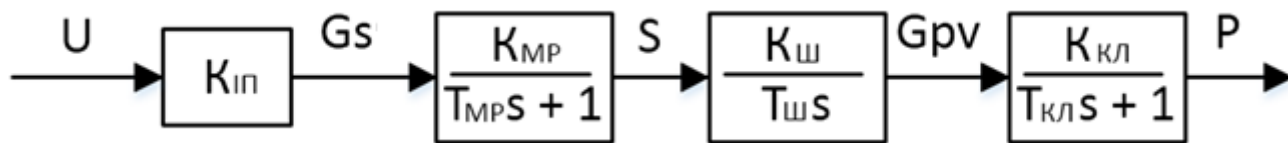


Рисунок 7.2 – Структурна схема системи регулювання

На основі побудованої схеми, зображеної на рисунку 7.2, є можливим розробити модель у середовищі MATLAB/Simulink та провести її дослідження. Результати на рисунку 7.3. Рисунок 7.4 на наступній сторінці проекту показує налаштування блоку Saturation, в якому виставлені межі ступеню відкриття клапану.

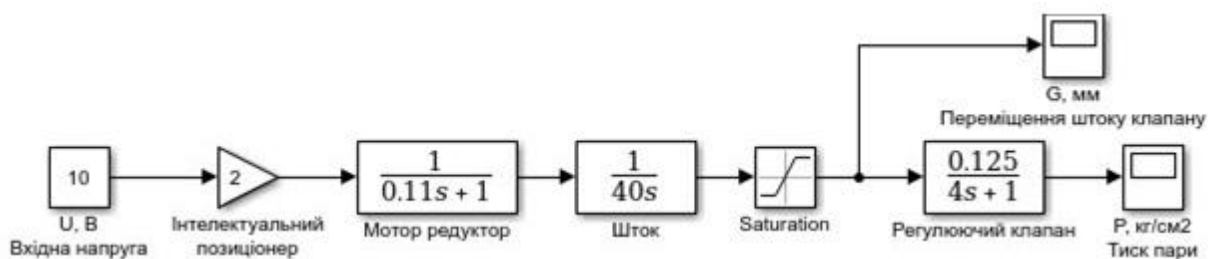


Рисунок 7.3 – Модель системи регулювання тиску на виході клапану у середовищі MATLAB/Simulink

На рисунках 7.5 та 7.6 зображені графіки перехідних процесів складових системи регулювання. Блоком Saturation було введено обмеження на ступінь відкриття регулюючого клапану до 16,224 мм з метою наближення моделі до справжнього технологічного режиму. Це положення штоку при номінальному тиску гарячої пари у 2,028 кг/см², яке було вказане у таблиці 7.1.

За графіками на рисунках 7.5 та 7.6 можна зробити наступні висновки: усі параметри технологічного процесу та розроблена модель системи регулювання

рівноцінній об'єкту автоматизації та його технологічним режимам. При усуненні обмеження (блок Saturation) з'являється відхилення тиску гарячої пари, що свідчить про необхідність застосування регуляторів, котрі б забезпечили стабілізацію технологічних параметрів і додатково покращили б швидкодію.

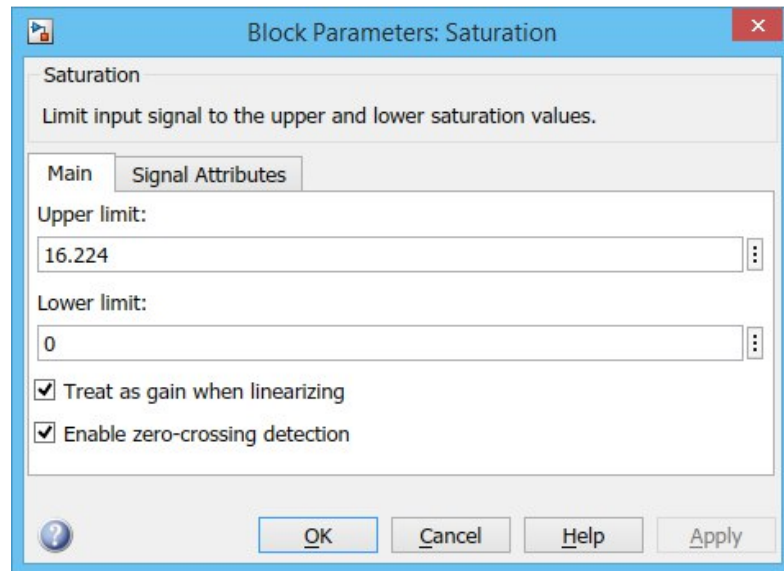


Рисунок 7.4 – Параметри блоку Saturation

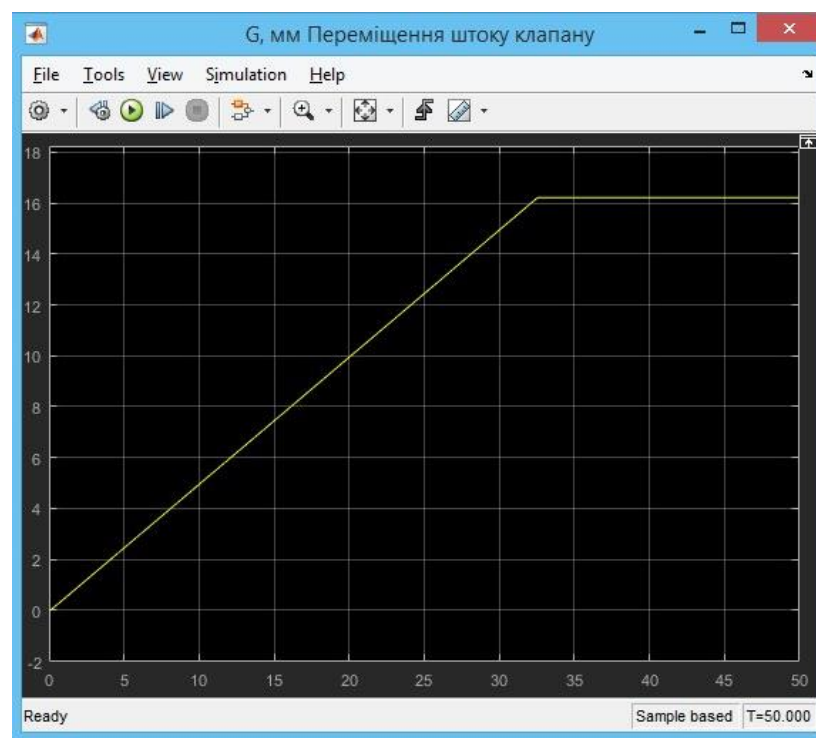


Рисунок 7.5 – Перехідний процес по ходу штоку клапану

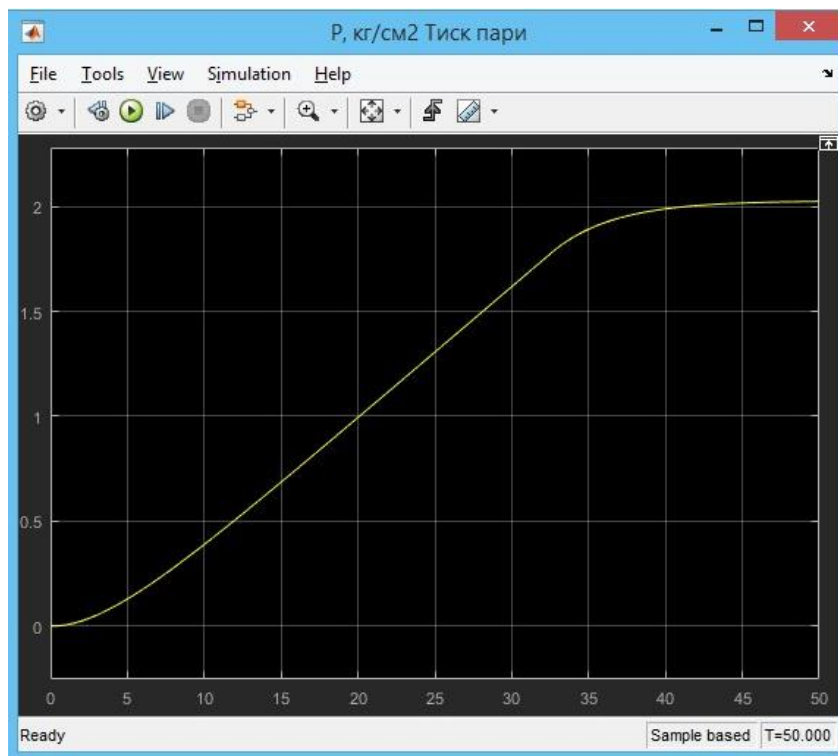


Рисунок 7.6 – Перехідний процес, що зображує зміну тиску гарячої пари на виході регулюючого клапану внаслідок встановлення ступеню відкритості клапану у 16,224 мм

7.2 Розрахунок параметрів контурів регулювання

До складу даної системи регулювання входять два контури:

- контур регулювання положення (ходу) штоку клапану з плунжером;
- контур регулювання тиску гарячої пари на виході клапану.

На практиці під час побудови систем автоматичного регулювання для систем, що мають декілька контурів регулювання, є доцільним використання принципу підлеглого регулювання координат, котрий використовує послідовні корегуючі ланки (в цьому проекті їх дві – для ступеню відкритості клапану та для тиску гарячої пари на виході клапану) і має широке застосування в електроприводах.

Пояснення до методу підлеглого регулювання було взяте з джерела [31]. Отже, сутність даного принципу наступна. Об'єкт регулювання представляється

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у вигляді послідовно з'єднаних ланок, вихідними значеннями яких є координати об'єкту як-от напруга, електрорушійна сила, положення, швидкість та інші характеристики.

Для керування кожною з цих координат застосовується окремий регулятор і він утворює разом з об'єктом контур, що замкнутий відповідним зворотнім зв'язком. Регулятори з'єднуються послідовно таким чином, що вихід одного регулятора водночас стає входом іншого. При цьому замкнуті контури регулювання утворюють систему, котра має внутрішній контур керування, що складається з регулятора та однієї з ланок об'єкту керування, перший зовнішній контур, що включає в себе внутрішній контур та наступну ланку об'єкту керування, другий зовнішній контур, що включає в себе перший і наступну ланку об'єкту керування і так далі.

Вихідний сигнал кожного зовнішнього контуру є задаючим для наступного, що міститься всередині його контуру. В результаті, кожен внутрішній контур регулювання підпорядкований відповідному зовнішньому. Описаний метод зображується на рисунку 7.7:

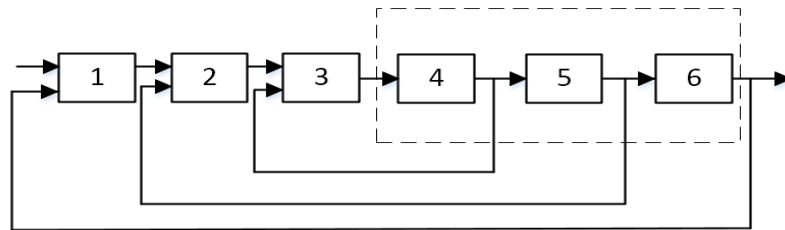


Рисунок 7.7 – Загальна схема системи, що використовує метод підпорядкованого регулювання

На рисунку 7.7 цифрами 1, 2 та 3 позначені регулятори, а цифрами 4, 5 та 6 – ланки об'єкту керування. Зовнішній контур утворений регулятором 1 та ланкою об'єкту керування 6; контур, що знаходиться у його підпорядкуванні, утворений регулятором 2 та ланкою 5; останній внутрішній контур, підпорядкований попередньому, утворюється регулятором 3 та ланкою 4.

Загалом, метод підпорядкованого регулювання координат дозволить підви-

щити надійність системи. Наприклад: при розриві кабелю датчика регулятор зовнішнього контуру виступить у якості компенсатору та зможе запобігти виходу з-під контролю перехідного процесу. Додатково, застосування каскадного регулювання покращить динамічні характеристики системи за рахунок запобіжного опрацювання збурень по положенню штоку, не допускаючи впливи на тиск гарячої пари.

Виконаємо синтез регуляторів, використовуючи вище описаний метод з підпорядкованим регулюванням координат; контури, що піддаються регулюванню, будуть налаштовані на бажаний вид аперіодичної ланки – при цьому має бути відсутнім перерегулювання.

Попередньо слід визначити значення коефіцієнтів перевантаження. Це коефіцієнти, що встановлюють кількісну міру можливих відхилень навантажень від їх нормативного значення [32]. Користуючись таблицею 7.1 (максимальні значення положення штоку та тиску гарячої пари ділимо на їх номінальні значення), складаємо таблицю 7.2, в якій обраховані коефіцієнти перевантаження.

Таблиця 7.2 – Коефіцієнти перевантаження для положення штоку та тиску пари

	Положення штоку, мм	Тиск гарячої пари, кг/см ²
Номінальне значення	16,224	2,028
Максимальне значення	20	2,5
Коефіцієнт перевантаження, %	23%	23%

Контур регулювання положення (ходу) штоку клапану з плунжером має у своєму складі інтелектуальний позиціонер, мотор-редуктор і власне шток. Відповідно до основних засад методу з підпорядкованим регулюванням координат, наразі слід вибрати вихідну координату даного контуру регулювання,

якою є положення штоку у міліметрах.

За формулою (7.8) обчислимо номінальну вхідну напругу:

$$U_{\text{НОМ.ВХ}} = \frac{K_{\text{Ш.НОМ}} \cdot U_{\text{МАКС}}}{K_{\text{Ш.МАКС}}} = \frac{16,224 \cdot 10}{20} = 8,112 \text{ (В)}, \quad (7.8)$$

де $K_{\text{Ш.НОМ}}$ – хід штоку при номінальному тиску пари у мм;

$K_{\text{Ш.МАКС}}$ – хід штоку при максимальному тиску пари у мм;

$U_{\text{МАКС}}$ – максимальне значення напруги на вході системи регулювання у В.

Знаючи номінальну задаючу напругу (ту, при якій клапан встановить положення штоку у 16,224 мм), можемо скласти схему контуру регулювання ходу штоку клапану (рисунк 7.8):

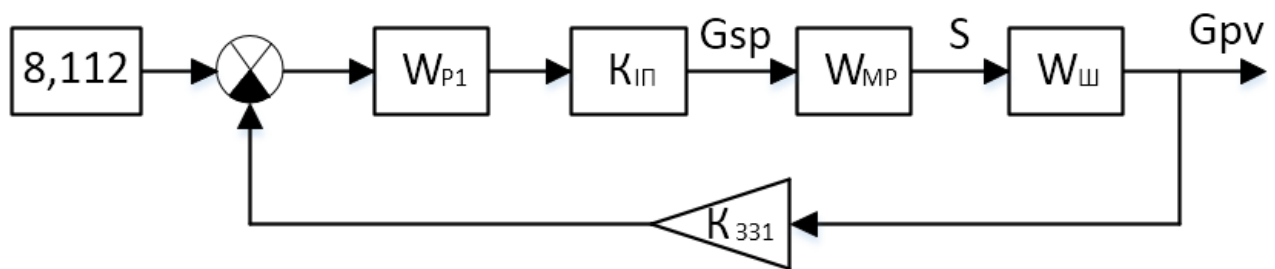


Рисунок 7.8 – Схема контуру регулювання ходу штоку клапану

Визначаємо коефіцієнт зворотного зв'язку (K_{331} на схемі) за допомогою формули (7.9):

$$K_{331} = W_{33\text{Ш}} = \frac{U_{\text{МАКС}}}{K_{\text{Ш.МАКС}}} = \frac{10}{20} = 0,5 \left(\frac{\text{В}}{\text{мм}} \right). \quad (7.9)$$

Записуємо формулу (7.10) для знаходження передавальної функції регулятора ($W_{\text{РЕГ1}}$), що буде використовуватись у контурі регулювання положення штоку, котра дорівнює відношенню бажаної передавальної функції ($W_{\text{БАЖ1}}$) до вихідної функції контуру ($W_{\text{ВИХ1}}$):

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{РЕГ1}} = \frac{W_{\text{БАЖ1}}}{W_{\text{ВИХ1}}} , \quad (7.10)$$

де бажана передавальна функція знаходиться за формулою (7.11):

$$W_{\text{БАЖ1}} = \frac{1}{T_{\text{Ш.БАЖ}} s} , \quad (7.11)$$

де $T_{\text{Ш.БАЖ}}$ – це бажана постійна часу штоку, котра у цьому проекті дорівнюватиме 0,8 с. Отже, матимемо наступний вираз бажаної передавальної функції (7.12):

$$W_{\text{БАЖ1}} = \frac{1}{0,8s} . \quad (7.12)$$

Вихідна передавальна функція контуру регулювання положення штоку визначається добутком передавальних функцій інтелектуального позиціонера ($W_{\text{ІП}}$), мотор-редуктору ($W_{\text{МР}}$), штоку ($W_{\text{Ш}}$) та зворотнього зв'язку штоку ($W_{\text{ЗЗШ}}$), що відображає формула (7.13). Розрахунки вихідної передавальної функції зображені у рівнянні (7.14).

$$W_{\text{ВИХ1}} = W_{\text{ІП}} \cdot W_{\text{МР}} \cdot W_{\text{Ш}} \cdot W_{\text{ЗЗШ}} , \quad (7.13)$$

$$W_{\text{ВИХ1}} = 2 \cdot \frac{1}{0,11s + 1} \cdot \frac{1}{40s} \cdot 0,5 = \frac{1}{40s(0,11s + 1)} . \quad (7.14)$$

Повертаючись до формули (7.10), розраховуємо бажану передавальну функцію регулятора для контуру регулювання положенням (ходу) штоку (7.15):

$$W_{\text{РЕГ1}} = \frac{W_{\text{БАЖ1}}}{W_{\text{ВИХ1}}} = \frac{1}{0,8s} : \frac{1}{40s(0,11s + 1)} = \frac{4,4s^2 + 40s}{0,8s} . \quad (7.15)$$

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У отриманого регулятора порядок знаменника нижче за порядок чисельника, тому є доцільним домножити знаменник на $(0,001s + 1)$. Внаслідок цього передавальна функція регулятора прийме вигляд (7.16):

$$W_{\text{РЕГ1}} = \frac{4,4s^2 + 40s}{0,0008s^2 + 0,8s}. \quad (7.16)$$

Тепер черга регулятору для контуру регулювання тиску гарячої пари. Цей контур містить інтелектуальний позиціонер, шток (приводиться у рух мотор-редуктором) та власне клапан. У якості вихідної координати виступає тиск гарячої пари.

Номінальна вхідна напруга контуру розраховується за формулою (7.17):

$$U_{\text{НОМ.ВХ}} = \frac{P_{\text{П.НОМ}} \cdot U_{\text{МАКС}}}{P_{\text{П.МАКС}}} = \frac{2,028 \cdot 10}{2,5} = 8,112 \text{ (В)}, \quad (7.17)$$

Складаємо відповідну схему контуру регулювання тиску гарячої пари (див. рисунок 7.9):

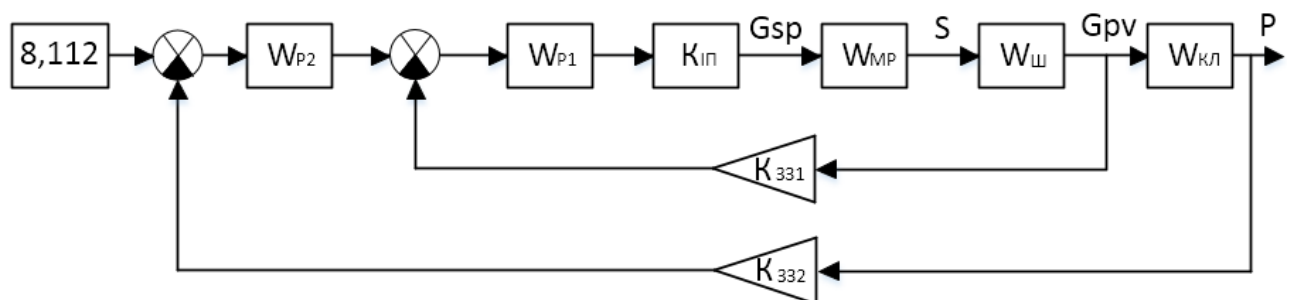


Рисунок 7.9 – Схема контуру регулювання тиску гарячої пари

Розраховуємо коефіцієнт зворотного зв'язку контуру регулювання тиску пари на виході клапану (K_{332}). Він дорівнює відношенню максимального значення напруги на вході даного контуру (10 В) до максимального тиску гарячої пари ($2,5 \text{ кг/см}^2$). Детальніші розрахунки у формулі (7.18):

$$K_{332} = W_{33 \text{ кл}} = \frac{10}{2,5} = 4 \left(\frac{\text{В}}{\text{кг/см}^2} \right). \quad (7.18)$$

Щоб знайти передавальну функцію регулятора для контуру регулювання тиску гарячої пари, необхідно знайти відношення бажаної передавальної функції ($W_{\text{БАЖ2}}$) до вихідної передавальної функції ($W_{\text{БАЖ2}}$) даного контуру (7.19).

$$W_{\text{РЕГ2}} = \frac{W_{\text{БАЖ2}}}{W_{\text{ВИХ2}}}, \quad (7.19)$$

причому бажана передавальна функція має вигляд (7.20):

$$W_{\text{БАЖ2}} = \frac{1}{T_{\text{КЛ БАЖ}} s}, \quad (7.20)$$

де $T_{\text{КЛ БАЖ}}$ – бажана постійна часу клапану, котру приймемо за 20 с. Тепер формула (7.20) набуде вигляду (7.21).

Одразу визначимо, що являє собою вихідна передавальна функція (7.22) – це добуток передавальних функцій клапану ($W_{\text{КЛ}}$), зворотного зв'язку клапану (W_{332}) та внутрішнього замкнутого контуру, що регулює положення штоку клапану (Φ).

Формула для внутрішнього замкнутого контуру представлена нижче під згаданими формулами (7.23).

$$W_{\text{БАЖ2}} = \frac{1}{0.5s}, \quad (7.21)$$

$$W_{\text{ВИХ2}} = W_{\text{КЛ}} \cdot W_{33 \text{ кл}} \cdot \Phi, \quad (7.22)$$

$$\Phi = \frac{W_{\text{РЕГ1}} \cdot W_{\text{ІП}} \cdot W_{\text{МР}} \cdot W_{\text{ІШ}}}{1 + W_{\text{РЕГ1}} \cdot W_{\text{ІП}} \cdot W_{\text{МР}} \cdot W_{\text{ІШ}} \cdot W_{33 \text{ ІШ}}}. \quad (7.23)$$

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час попередніх обчислень $W_{\text{РЕГ1}}$ через проблеми з отриманим степенем передавальна функція була домножена на $(0,001s + 1)$, проте у наступних обчисленнях це не враховується і $W_{\text{РЕГ1}}$ береться як у рівнянні (7.15).

Обчислюємо функцію Φ (7.24):

$$\begin{aligned}\Phi &= \frac{\frac{4,4s^2 + 40s}{0,0008s^2 + 0,8s} \cdot 2 \cdot \frac{1}{0,11s + 1} \cdot \frac{1}{40s}}{1 + \frac{4,4s^2 + 40s}{0,0008s^2 + 0,8s} \cdot 2 \cdot \frac{1}{0,11s + 1} \cdot \frac{1}{40s} \cdot 0,5} = \\ &= \frac{2(4,4s^2 + 40s)}{(0,0008s^2 + 0,8s)(0,11s + 1)40s + (4,4s^2 + 40s)} \cdot \quad (7.24)\end{aligned}$$

Тепер застосовуємо формулу (7.22) і обчислюємо шукану передавальну функцію контуру регулювання тиску гарячої пари (7.25):

$$\begin{aligned}W_{\text{ВИХ2}} &= \frac{2(4,4s^2 + 40s)}{(0,0008s^2 + 0,8s)(0,11s + 1)40s + (4,4s^2 + 40s)} \cdot 4 \cdot \frac{0,125}{6s + 1} = \\ &= \frac{(4,4s^2 + 40s)}{((0,0008s^2 + 0,8s)(4,4s^2 + 40s) + (4,4s^2 + 40s))(6s + 1)} = \\ &= \frac{(4,4s^2 + 40s)}{(4,4s^2 + 40s)((0,0008s^2 + 0,8s) + 1)(6s + 1)} = \\ &= \frac{1}{4,8s^2 + 6,8s + 1} \cdot \quad (7.25)\end{aligned}$$

Використовуємо формулу (7.19) і обчислюємо передавальну функцію регулятора зовнішнього контуру $W_{\text{РЕГ2}}$ (7.26):

$$W_{\text{РЕГ2}} = \frac{1}{0,5s} \cdot \frac{4,8s^2 + 6,8s + 1}{1} = \frac{4,8s^2 + 6,8s + 1}{0,5s} \cdot \quad (7.26)$$

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порядок знаменника менший за порядок чисельника, тому домножуємо на $(0,001s + 1)$. Передавальна функція другого регулятора прийме вигляд (7.27):

$$W_{\text{РЕГ2}} = \frac{4,8s^2 + 6,8s + 1}{0,0005s^2 + 0,5s}. \quad (7.27)$$

Усі необхідні ланки та регулятори були розраховані. Отже, час розробки відповідних моделей у середовищі MATLAB/Simulink з метою перевірки перехідних процесів зміни тиску пари та положення штоку клапану. На рисунку 7.10 зображена модель замкнутого контуру регулювання положення (ходу) штоку клапану. Рисунок 7.11 представляє перехідний процес контуру регулювання ходу штоку клапану.

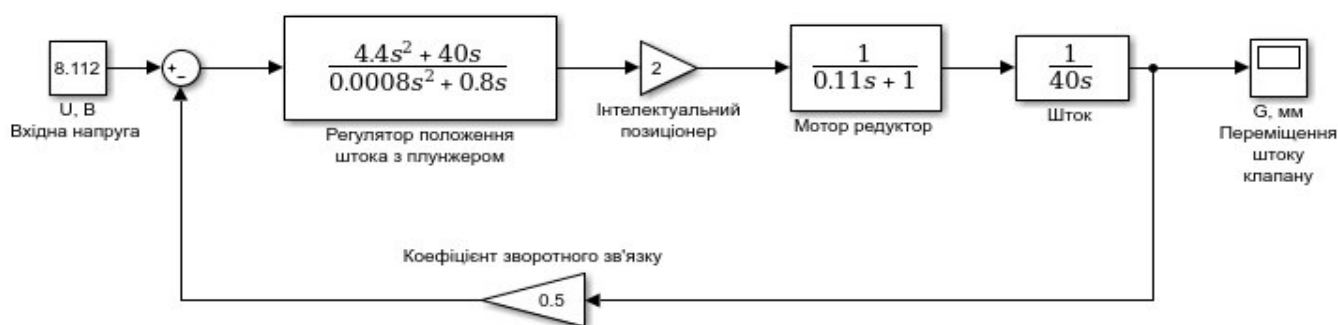


Рисунок 7.10 – Модель замкнутого контуру регулювання ходу штоку регулюючого клапану

Блок Saturation був прибраний, оскільки він задавав обмеження ходу штоку, і відхилення тиску пари не спостерігалось; тепер модель має розроблений регулятор, котрий забезпечує контроль та стабілізацію технологічних параметрів, тому необхідності у початковому обмежувачі вже немає.

Аналізуючи графік на рисунку 7.11, можна відмітити, що встановлене значення дорівнює 16,224 мм при повній відсутності перерегулювання. Причому, якщо порівняти отриманий перехідний процес з процесом на рисунку 7.5, то можна відмітити плавний перехід до необхідного значення та високу швидкодію:

якщо раніше час встановлення був приблизно 32 с, то тепер він дорівнює 5 с.

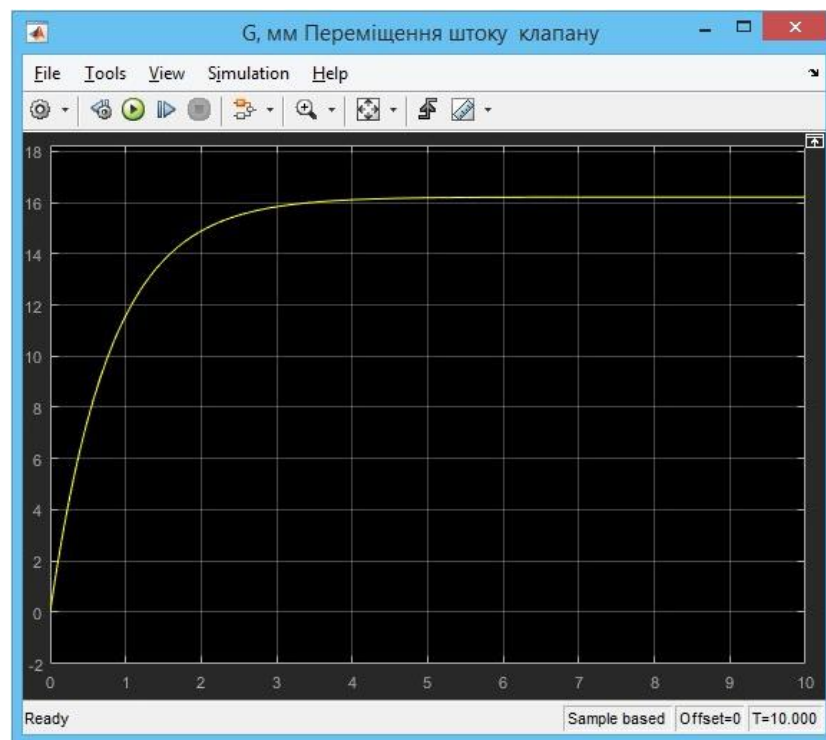


Рисунок 7. 11 – Перехідний процес контуру регулювання ходу штоку клапану після подачі живлення 8,112 В (відповідає відкриттю клапану на степінь 16,224 мм)

Тепер складемо модель замкнутого контуру, що регулює тиск гарячої пари і включає в себе дві регулюючі ланки (рисунок 7.12):

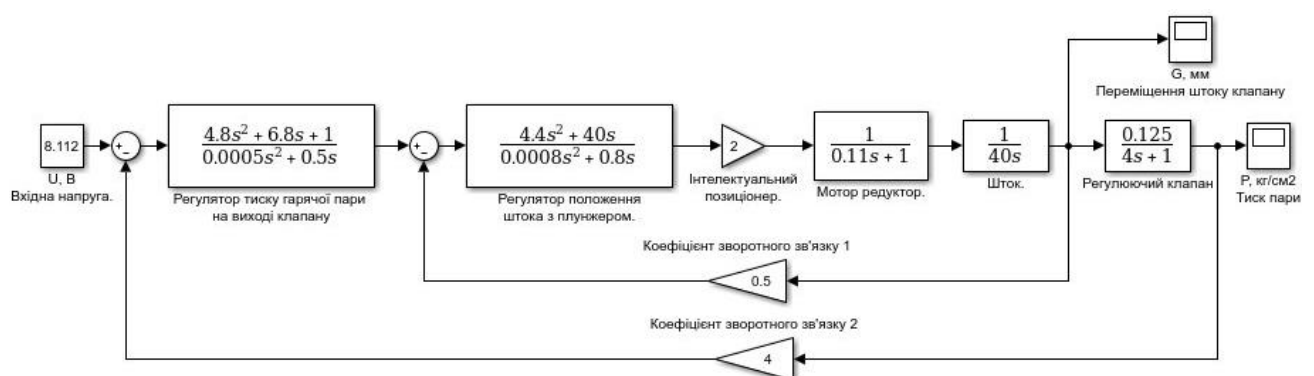


Рисунок 7.12 - Модель замкнутого контуру регулювання тиску гарячої пари

Аналізуючи перехідний процес тиску пари, що зображений на рисунку 7.13, можна стверджувати наступне: встановлення у значення $2,028 \text{ кг/см}^2$ відбувається без перерегулювання і за час, рівний приблизно 15 с у порівнянні з 45 с на рисунку 7.6, що є гарним показником якості регуляторів.

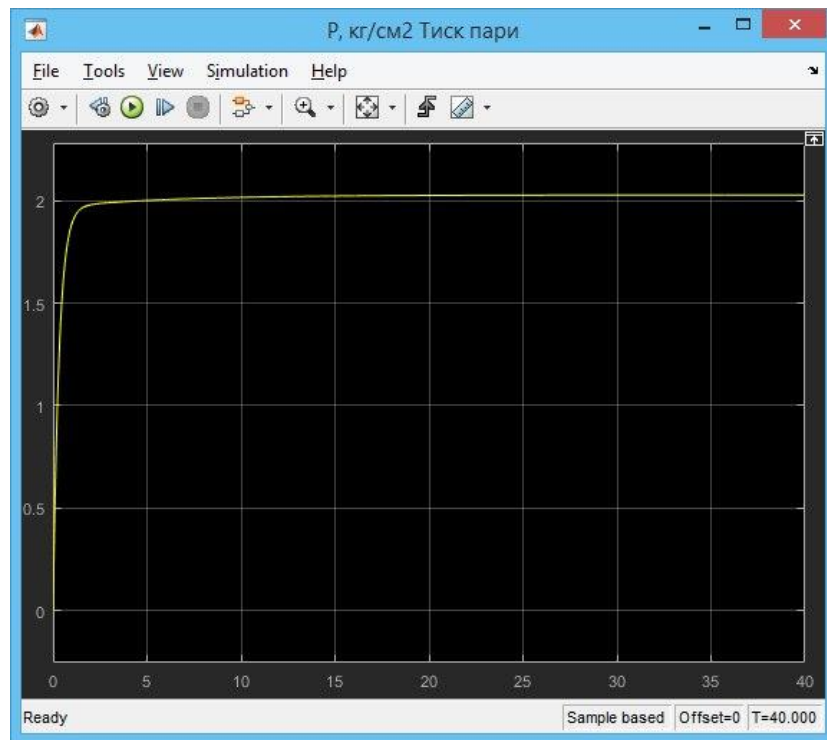


Рисунок 7.13 – Перехідний процес контуру регулювання тиску гарячої пари на виході клапану

Таким чином, орієнтуючись на результати перехідних процесів двох контурів регулювання (положення штоку та тиску пари), можна зазначити, що синтез регуляторів був успішно виконаний. Час перехідного процесу ходу штоку, порівняно з часом перехідного процесу у побудованій моделі клапану без використання регулятора, зменшився у 6 разів; час перехідного процесу тиску пари на виході регулюючого клапану внаслідок його відкриття на певну ступінь (тут – на 16,224 мм) зменшився у 3 рази.

8 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Одним з основних етапів автоматизації системи керування є створення її керуючої програми. Відповідно до цього, в даному розділі буде розроблена програма на текстовій (ST) та графічній (SFC) мовах стандарту IEC 61131-3.

Програма розроблювалася не для усієї системи, а для одного контуру; у даному випадку був обраний контур сушіння (четвертий), до складу якого входять наступні елементи: центрифуга, регулюючий клапан, витратомір, датчик температури, давач положення. Також були включені певні елементи з інших контурів з метою відтворення повного процесу функціонування четвертого контуру як частини повноцінної системи: шнековий вивантажувач флексу з флотаційної ванни (третій контур), насос викачування пластикових пластівців з центрифуги та бункер витримки (п'ятий контур).

Мовою SFC (Послідовні функціональні діаграми) розробляються блоки типу «стан-перехід», котрі програмуються відповідно до заданого алгоритму функціонування обраного контуру системи. SFC відрізняється від ST та традиційних для двадцять першого сторіччя мов програмування. В її основі – графічні блоки, котрі описують певні промислові процеси (наприклад, підтримка рівня рідини) у вигляді, що є дуже наближеним до діаграми станів. Ця мова дозволяє описати хронологічну послідовність дій у системі переробки ПЕТ-виробів.

Мова ST (Structured Text) використовується для програмування контролерів, цільовою нішею яких є промисловість. ST, відповідно до своєї семантики та способу кодування, дуже схожа до мови програмування Pascal.

Детальніше процес програмування зазначеними мовами можна побачити у таблицях нижче, котрі будуть детально пояснені.

Рисунок 8.1 наочно показує, які елементи контурів будуть задіяні під час програмування. Таким чином, буде створена програма роботи одного контуру (четвертого) для обраного промислового контролеру ADAM-8000, котрий є основним керуючим елементом в автоматизованій системі керування процесом

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переробки ПЕТ-виробів.

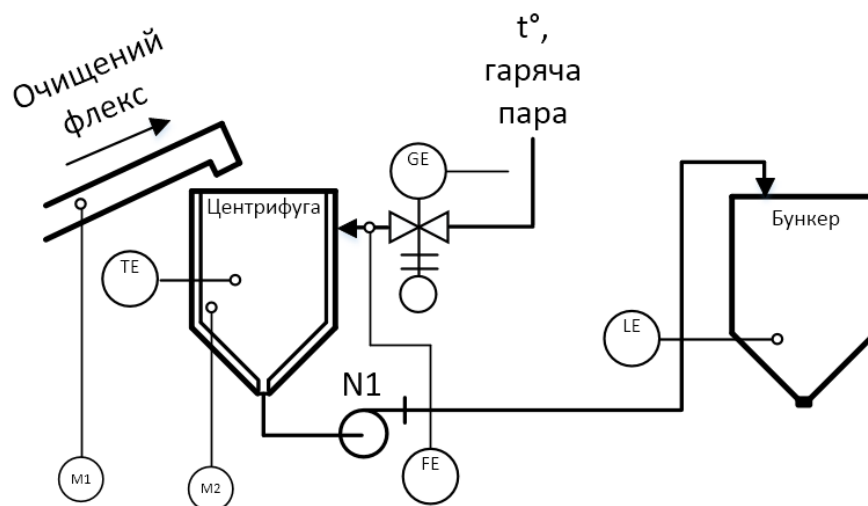


Рисунок 8.1 – Зображення елементів контурів, що приймають участь у програмуванні

На рисунку 8.1 зображено: TE – датчик температури центрифуги, GE – давач положення регулюючого клапану, FE – витратомір, N1 – насос, M1 – двигун шнекового вивантажувача, M2 – двигун центрифуги, LE – датчик рівня у бункері витримки готового флексу, що пройшов усі заплановані етапи переробки.

Першим кроком під час початку програмування мовою SFC є формування змінних, які описують певні елементи контуру (двигун центрифуги, датчик температури тощо), фізичні величини (температура, ступінь відкритості клапану, витрата пари і т.д.) та їх стан (двигун увімкнений, датчик сигналізує про перевищення температури тощо). Для зручності і наочності призначення змінних був створений словник змінних (таблиця 8.1).

Таблиця 8.1 – Словник змінних, використовуваних для програмування

Назва змінної	Тип	Опис
m_centrifuge	BOOL	Сигнал керування двигуном центрифуги
n1	BOOL	Сигнал керування насосом

Продовження таблиці 8.1

start_process	BOOL	Команда подачі живлення на всю систему
shnek	BOOL	Сигнал керування шнековим вивантажувачем
valve	LREAL	Змінна керування регулюючим клапаном
bool_temp	BOOL	Аварійний сигнал від температурного датчика
q_const	LREAL	Значення теплоти (деталі нижче таблиці)
q_n1	LREAL	Значення теплоти, яку забирає насос (0,8 кДж)
q	LREAL	Значення теплоти, присутньої у центрифугі
lvl_temperature	LREAL	Значення температури у центрифугі
lvl_vapor	LREAL	Значення витрати пари, що проходить трубою
lvl_valve	LREAL	Значення ступеню відкритості клапану
lvl_bunker	LREAL	Значення рівня флексу у бункері

Дана таблиця потребує певних доповнень. Одиниці виміру змінних наступні: «valve», «lvl_valve», «lvl_bunker» - мм, «q_const», «q», «q_n1» - кДж, «lvl_temperature» - °C, «lvl_vapor» - кг/год.

Значення «q_const» розраховується за наступною формулою (8.1):

$$Q = cm = 2206 \cdot 3 = 6,618 \text{ (кДж/}^{\circ}\text{C)}, \quad (8.1)$$

де c – питома теплоємність пари у кДж/(кг · °C);

m – вага пари у кг.

Таким чином, було з'ясовано, що для нагріву 2,5 м³ (3 кг повітря при щільності 1,2041 кг/м³) центрифуги на 1 °C необхідно 6,618 кДж (значення «q_const»). Початковим значенням температури у центрифугі є 20 °C (початкове значення «lvl_temperature»), що відповідає 132,36 кДж (значення «q») теплоти. Аби нагріти центрифугу до 120 °C, знадобиться 661,8 кДж. Відповідно до цього, центрифуга нагріється до необхідного значення за 100 с (1 °C за секунду). Для досягнення такого результату за заданий час клапан подачі пари має бути відкритий на 16 мм.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Друга формула, що використовується у розділі програмування позначає витрату пари для витратоміру (8.2):

$$j = 3600 \cdot \pi \cdot \frac{v}{V} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2, \quad (8.2)$$

де v – швидкість пари у м/с (40 м/с);

V – питомий об'єм у м³/кг (обернено до щільності повітря – 0,892 м³/кг);

d – діаметр отвору клапану у м,

j – витрата пари у кг/год.

За цією формулою розраховується витрата пари, що залежить від ступеню відкритості штоку клапану.

Можна переходити до безпосередньої частини програмування. Рисунок 8.2 демонструє робочу схему програми мовою SFC.

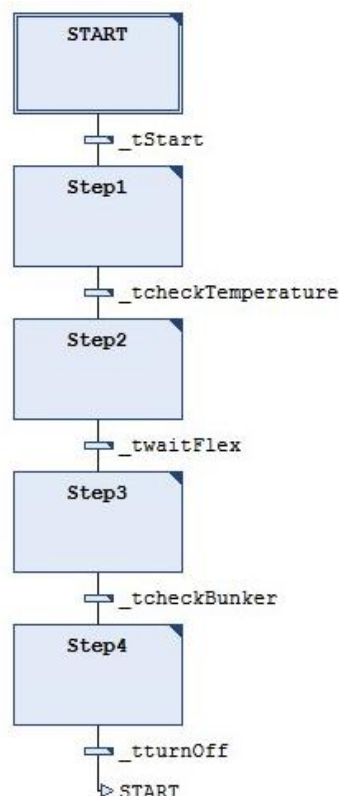
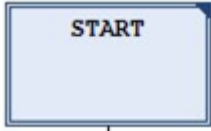
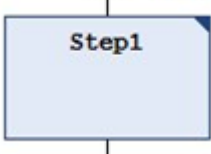



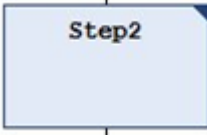
Рисунок 8.2 – Робоча схема мовою SFC

У таблиці 8.1 були продемонстровані змінні, що використовувалися у створенні програми; таблиця 8.2 демонструє зображення кожного функціонального блоку мовою SFC (зліва), програму до нього мовою ST (посередині) та коментарі (справа). Графіки процесів зняті з датчиків і показані на рисунках 8.3, 8.4, 8.5.

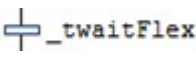
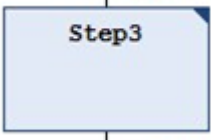
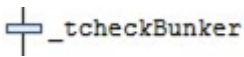
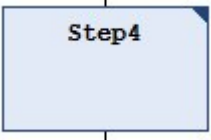
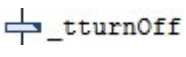

Таблиця 8.2 – Код та коментарі програми до кожного блоку

Блок SFC	Код ST	Коментар
	<pre> m_centrifuge := FALSE; shnek:= FALSE; valve:= 0; lvl_temperature:= 20; lvl_vapor:= 0; lvl_valve:= valve; lvl_bunker := 0; start_process:= TRUE; IF lvl_temperature >= 155 THEN valve := 0 AND n1 := TRUE AND bool_temp := TRUE; END_IF start_process:= TRUE; </pre>	<p>Початковий стан системи без живлення. Усі елементи системи вимкнені; лише датчик температури зчитує значення середовища центрифуги (20 °C).</p> <p>Подається живлення до системи (start_process).</p> <p>Перевірка сигналізації температурного датчику у випадку фіксування температури, близької до 160 °C (конструкція IF).</p> <p>Перехід до іншого блоку програми, якщо було подано живлення</p>
	<pre> m_centrifuge:= TRUE; valve:= 16; lvl_valve:= valve; </pre>	<p>Вмикаємо центрифугу. Відкриваємо клапан на 16 мм; давач положення зчитує положення штоку клапану і подає його операторові</p>

Продовження таблиці 8.2

 _tcheckTemperature	<pre> q := ((valve/16) * q_const + q); lvl_temperature := q*0.151103; lvl_vapor:= 506871.7351*(valve/2)*(val ve/2); IF lvl_temperature >= 155 THEN valve := 0 AND n1 := TRUE AND bool_temp := TRUE; END_IF Lvl_temperature>=120; </pre>	<p>Вираховуємо кількість теплоти, що є у центрифuzі (q). Переводимо її у градуси Цельсія та демонструємо на датчику. Вираховуємо витрату пари для витратоміру і демонструємо на датчику.</p> <p>Перевірка сигналізації температурного датчику</p> <p>Переходимо до наступного блоку якщо центрифуга нагрілась</p>
	<pre> valve:= (16*q_n1)/q_const; shnek := TRUE; n1:= TRUE; lvl_vapor:= 506871.7351*(valve/2)*(val ve/2); lvl_valve:= valve; q := ((valve/16)*q_const + q - q_n1); lvl_temperature := q*0.151103; </pre>	<p>Переводимо клапан у режим підтримки заданої температури (120 °C) – відкриваємо на 2 мм. Вмикаємо шнековий вивантажувач та насос; вираховуємо витрату пари, положення штоку клапану, кількість теплоти та рівень температури.</p> <p>Традиційно перевіряємо температуру на критичне значення (не показано).</p>

Продовження таблиці 8.2

	<p>Step2.t>=T#6S;</p>	<p>Очікуємо, поки перші крихти пластику пройдуть центрифугу і тоді переходимо до виконання наступного блоку.</p>
<div data-bbox="255 779 466 918">Step3</div>  <div data-bbox="226 1276 470 1332">  </div>	<p>lvl_bunker := lvl_bunker + 1; valve:= (16*q_n1)/q_const; lvl_vapor:= 506871.7351*(valve/2)*(valve/2); lvl_valve:= valve; q := ((valve/16)*q_const + q - q_n1); lvl_temperature := q*0.151103;</p> <p>lvl_bunker>=2900 OR m_centrifuge:= FALSE;</p>	<p>Розпочинається заповнення бункеру флексом. Продовжується підтримка сталої температури центрифуги та її видача на екран датчику, вирахування витрат пари на виході клапану, кількості теплоти та температури у центрифугі.</p> <p>Перехід далі у разі перевищення рівня флексу у бункері або отримання сигналу вимк. системи</p>
<div data-bbox="255 1541 466 1680">Step4</div>  <div data-bbox="252 1729 438 1785">  </div>	<p>shnek:=FALSE; valve:=0; n1:=FALSE; start_process:= FALSE; start_process:=FALSE;</p>	<p>Вимикаємо усі працюючі елементи, закриваємо клапан. Зупинка живлення</p> <p>Перехід далі якщо живлення не надходить</p>
	<p>-</p>	<p>Перехід до початкового блоку Start</p>

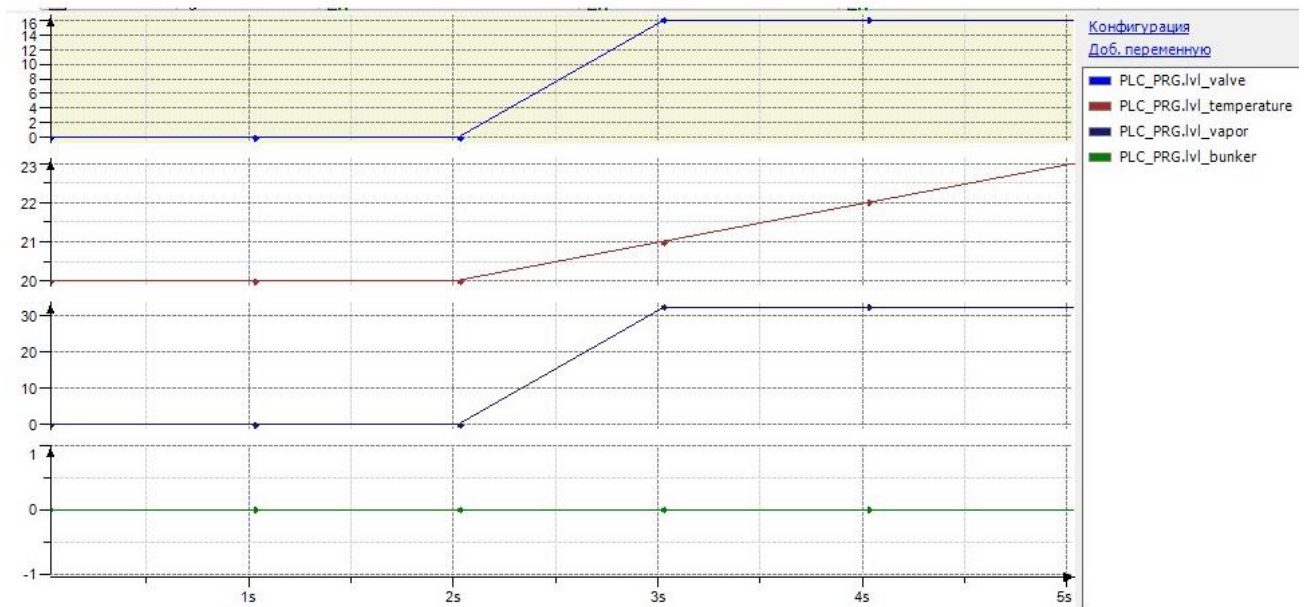


Рисунок 8.3 – Графіки, що демонструють покази датчиків при розгоні центрифуги

Рисунки 8.3, 8.4 та 8.5 мають 4 графіки: верхній відображає ступінь відкритості клапану подачі пари, під ним – відображення температури у центрифугу, третій графік – показ витрат пари на виході клапану, четвертий – рівень наповненості бункеру витримки флексом.

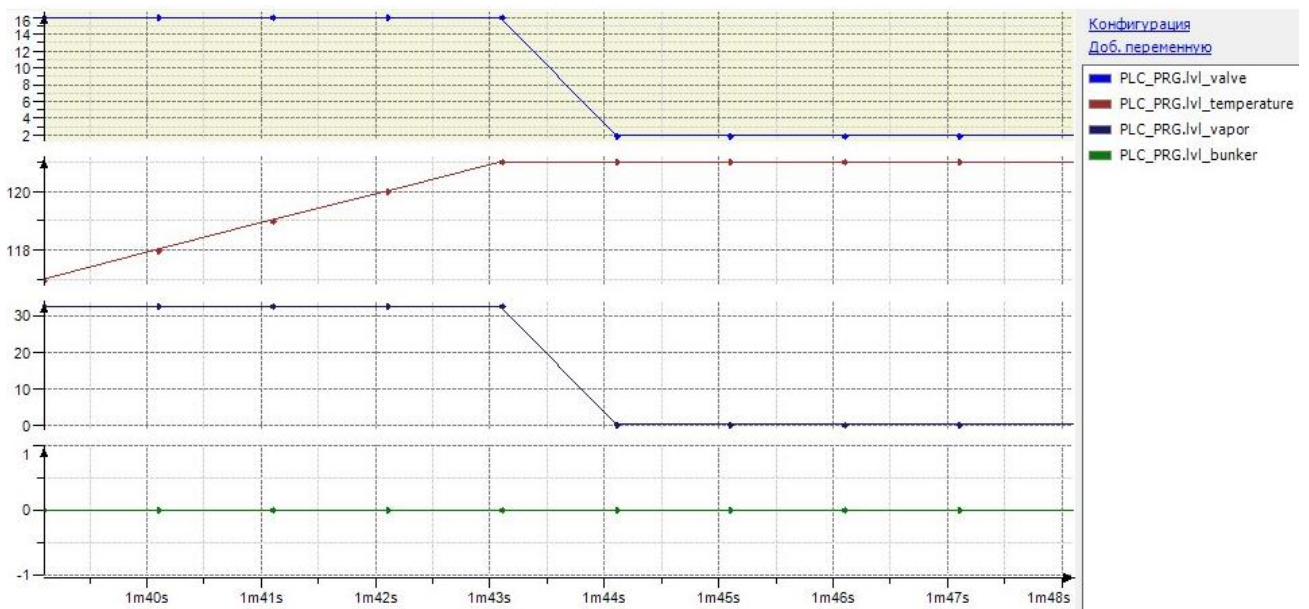


Рисунок 8.4 – Графіки, що демонструють покази датчиків при повній готовності центрифуги

Таким чином, на рисунку 8.3 можна помітити, що із запуском центрифуги був відкритий клапан подачі пари на 16 мм – це спричинило підвищення температури та зміну витрат пари до 32 кг/год, що виходить з клапану.

Рисунок 8.4 демонструє ситуацію, коли центрифуга нагрілася до необхідних 120 °С і тепер слід підтримувати цю температуру. В основному, тепло виходить за рахунок роботи насосу, тому це враховується у розрахунках в блоках і на першому графіку можна побачити, як положення штоку з 16 мм змінилося на 2 мм. При цьому температура увійшла в своє постійне положення, а витрата пари на виході клапану зафіксувалося на рівні, близькому до 0.5 кг/год.

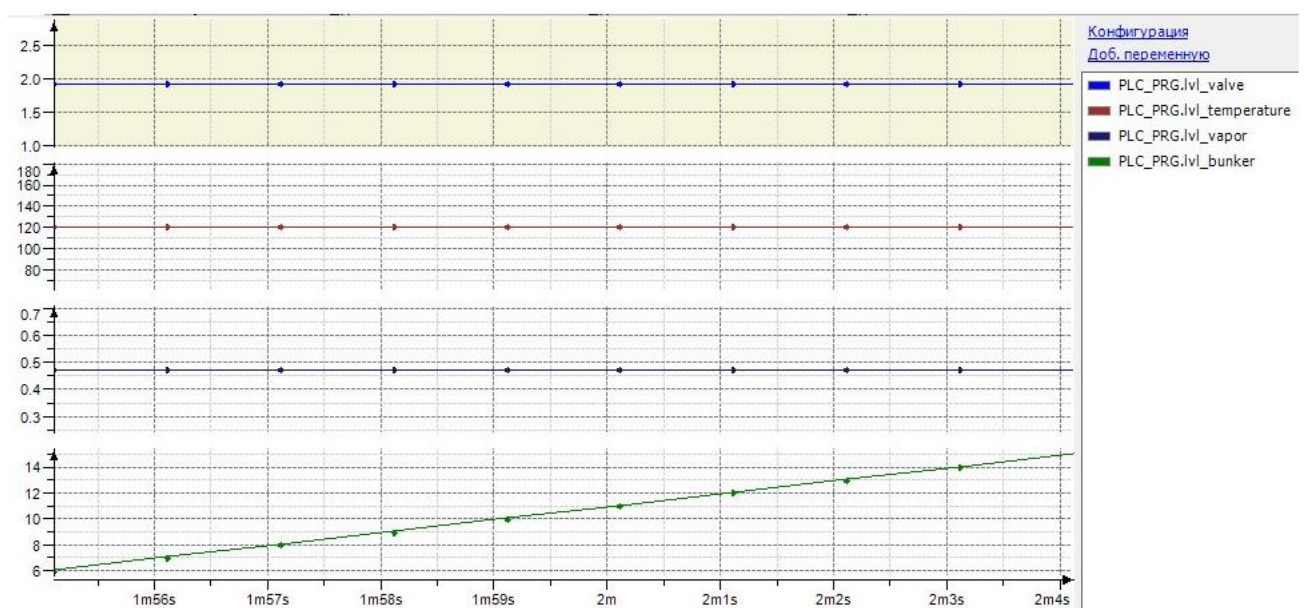


Рисунок 8.5 – Графіки, що демонструють покази датчиків при повноцінному сушінні флексу та його складуванні у бункері

Рисунок 8.5 показує відкритість клапану на майже 2 мм, сталу температуру 120 °С, витрата пари – 0.5 кг/год; тепер флекс почав потрапляти до бункеру і на другій хвилині роботи центрифуги датчик рівня у бункері фіксує значення рівня близько 11 мм.

Таким чином, була здійснена розробка програмного забезпечення мовами стандарту IEC 61131-3, а саме текстовою (ST) та графічною (SFC) мовами. В ході

розробки програми було визначено необхідний контур, що підлягає програмуванню – четвертий контур (сушіння), головним функціональним елементом якого є центрифуга, яка сушить та додатково очищує пластикові пластівці. Також під час створення алгоритму керування були задіяні елементи з третього (шнековий вивантажувач) та п'ятого (насос, бункер, датчик рівня) контурів з метою більш наглядної демонстрації процесу управління четвертим контуром.

Була створена таблиця змінних, що дала відомість щодо кожної використовуваної змінної у програмі. Самі блоки SFC та їх реалізація мовою ST були детально розписані у таблиці 8.2. Розроблена програма задовольняла усім вимогам та чітко демонструвала роботу контуру 4.

Сам регулюючий клапан подачі пари був промодельований у попередньому розділі, а його характеристики були покращені введенням регуляторів, котрі були розраховані з використанням методу підпорядкованих координат. Тому розроблена програма здатна максимально наближено до реальності демонструвати роботу контуру сушіння автоматизованої системи керування процесом переробки ПЕТ-виробів.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ

У даному дипломному проекті керуюча програма створювалася не для усієї системи, а для окремого контуру – четвертого; його основним функціональним елементом є центрифуга, що осушує та додатково очищує від решток пластиковий флекс.

Алгоритм роботи контролеру, що автоматизує четвертий контур проектованої системи представлений у вигляді блок-схеми на аркуші формату А3 і має номер ІА51.230БАК.005 Д1.

Алгоритм створеної програми включає в себе елементи з інших контурів для більш наочної демонстрації роботи четвертого: шнековий вивантажувач з третього, насос, датчик рівня та бункер – з п'ятого контуру.

Отже, в основі роботи елементів обраної підсистеми лежить залежність від живлення. Тому першочергово необхідно подати живлення системі через дисплей на панелі операторського щита; після цього відбувається увімкнення центрифуги та відкриття клапану подачі гарячої пари на 16 мм (зміна ходу штоку на величину 16 мм). Тепер центрифугі слід нагрітися до 120 °С, після чого ступінь відкритості клапану подачі пари стане рівним приблизно 2 мм, оскільки необхідність подальшого нагріву зникне, але при цьому з'явиться нова задача – підтримка вже встановленої температури.

Центрифуга готова до прийому флексу, тому наступна дія – увімкнення шнекового вивантажувача; флекс транспортується до центрифуги, де проходить сушіння та фінальну очистку, після чого потрапляє до бункеру витримки. При цьому контролер очікує сигналу від операторського щита щодо вимкнення центрифуги: якщо він надходить, то шнековий вивантажувач, центрифуга та насос вимикаються, клапан подачі пари закривається. подача живлення на елементи системи припиняється.

З моменту подачі живлення кожної секунди оновлюються дані на датчиках температури, положення клапану, витрат пари (4 контур) та рівня флексу у бункері (5 контур). Це на блок-схемі не показано через можливість сильного на-

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вантаження схеми.

Таким чином, розроблений алгоритм програми є достатньо простим та лінійним без розгалужень; має лише два блоки умов – перевірка достатнього ступеню нагріву центрифуги та перевірка входних сигналів на вимкнення центрифуги. Блоки виведення датчиками отриманих значень від елементів підсистеми були опущені, оскільки їх наявність може ускладнити схему та її розуміння.

Алгоритм повністю відповідає розробленій програмі керування обраним контуром, чітко відображає усі необхідні дії, що необхідно виконати задля злагодженої роботи всієї підсистеми, після чого не виході буде отримано бажаний чистий та висушений пластиковий флекс, котрий можна буде або зберігати у бункері витримки, або транспортувати до спеціальних ємностей зберігання пластикових пластівців для подальшої обробки чи повторного використання у виробничих цілях.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10 РОЗРОБКА ЩИТА УПРАВЛІННЯ

В даному дипломному проєкті був спроектований операторський щит управління, котрий дозволяє операторові керувати автоматизованою системою з місця розташування щита, а не напряду через місцеві прилади.

Спроектований операторський щит наведено на схемі ІА51.230БАК.005 ВО у масштабі 5:1. Там також наведені основні розміри складових щита, відстані між використовуваними елементами і т.д.

Розміри для щита були обрані наступні: висота - 800 мм, ширина – 875 мм, довжина – 75 мм. Зазначені величини дозволяють досить компактно розмістити усі необхідні елементи керування та відслідковування стану системи [33]. Схема використовує додатково до вже описаного дисплею оператора (розділ опису та обґрунтування засобів автоматизації) 5 ламп, 17 дискретних кнопок, 2 кнопки аналогової дії, 5 табличок з інформацією для оператора.

У якості дискретних кнопок була обрана модель SB-7. Такі кнопки виготовлені з пластику, є круглими, зеленими і мають діаметр 40 мм; ступінь захисту – IP40; здатні працювати у ланцюгах з постійним струмом з напругою до 400 В або у ланцюгах зі змінним струмом частотою 50 Гц із напругою до 660 В; номінальний робочий струм контактів – 7,5 А, кількість контактів – 1; спосіб монтажу – врізний. Діапазон робочих температур – від -10 °С до +40 °С; вологість повітря – від 45% до 90%; не допускається присутність конденсату. Кнопка зручна та невибаглива у використанні, нормально розімкнута [34].

Модель ламп - Астра-10. Діаметр – 75 мм, висота – 30 мм; дуже помітні на щиті. Працюють від 220 В живлення змінного або 10..14 В постійного струму. Споживаний струм: до 60 мА - світловий канал, до 150 мА – звуковий канал; працює при температурі від -30 °С до +55 °С; клас захисту оболонки – IP41, маса – 0,08 кг. Відносна вологість повітря – до 93% при +40 °С. Лампи червоного кольору, проте мають такий відтінок, аби у стані спокою не збуджувати нервову систему людини, а під час займання навпаки – приковувати до себе увагу, що є дуже важливим під час робочого процесу. Інформація про лампи з джерела [35].

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

У якості кнопок аналогової дії були обрані кнопки моделі 8КНР. Вони восьмипозиційні з нормально замкнутими контактами, працюють у ланцюгах постійного струму. Параметри у цього ланцюга мають бути наступними: напруга – 27 В; струм, що комутується – від 0,1 А до 5 А; падіння напруги на виходах – не більше 180 мВ; відносна вологість середовища – при 40 °С навколишнього середовища – до 98%; температура навколишнього середовища – від -40 °С до +40 °С; маса – не більша за 30 г [36].

Інформаційні таблички виготовлені з нержавіючого металу (або іншого корозієстійкого матеріалу), розміри – у кожного свої і вказані на схемі щита. Можуть кріпитися на щит саморізами по металу через спеціальні отвори у табличках або ж просто приклеюватися до панелі за допомогою спеціальних клейких засобів.

Дисплей на щиті слугує для інформації щодо стану системи операторові. Він є сенсорним, тому це надає додаткову гнучкість під час налаштування інтерфейсу під потреби робітника. Наприклад, можна налаштувати дисплей таким чином, щоб він активував/деактивував елементи системи простим натисканням на екран у потрібне поле, як це реалізовано у сучасних мобільних телефонах.

Даний пристрій відображає операторові стан усіх модулів системи та виконавчих механізмів: відкритість/закритість клапанів; чи працює те чи інше обладнання або двигун мішалки, люку резервуару, насосу; ступінь відкриття клапанів аналогової дії; покази від усіх датчиків та витратоміру системи. Важливість даного приладу відображення інформації є беззаперечною.

Тепер детальніше стосовно ламп та кнопок. П'ятеро ламп відповідають за аварійне спрацювання п'яти датчиків: рівня рідини у резервуарі, рівня пляшок у резервуарі, рівня води у флотаційній ванні, температури у центрифугі, рівня флексу у бункері. Відповідна датчику лампа спалахує у випадку:

- датчик рівня рідини резервуару зафіксував значення, більше за 3,69 м;
- датчик рівня пляшок резервуару зафіксував значення, більше за 3,79 м;
- датчик рівня води у ванні зафіксував значення, більше за 1,09 м;
- датчик температури центрифуги зафіксував значення, більше за 155 °С;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- датчик рівня флексу у бункері зафіксував значення, більше за 2,89 м.

Запалення лампи сповістить оператора про виникнення надзвичайної ситуації, внаслідок чого він буде вчасно поінформований та зможе оперативно прийняти подальше рішення.

Усі кнопки на щиті підписані, тому орієнтація в них не складає важкості. 17 дискретних кнопок керують двигунами обладнання (стрічковий та розділювальний конвеєри, два шнекових вивантажувачі, подрібнювач, флотаційна ванна, центрифуга) та пристроїв (мішалка, люк резервуару, насос), дискретними клапанами та подачею живлення на систему. Аналогові клапани (подачі гарячого повітря до центрифуги та подачі води до ванни) керуються відповідними кнопками аналогової дії.

Щит з контролером з'єднується за допомогою Ethernet-кабелю – досить ефективне та економне рішення.

Таким чином, був спроектований щит управління системою переробки ПЕТ-виробів. Це обладнання надає змогу операторові керувати системою дистанційно зі зручного для нього місця. Сам щит виконаний таким чином, аби не перенавантажувати робітника психічно, але при цьому надаючи йому увесь спектр керівних засобів системою.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломного проекту була спроектована та автоматизована система керування процесом переробки ПЕТ-виробів.

Були розроблені схеми формату А3, котрі описують систему та пояснюють процеси, що протікають в ній, а саме структурна та функціональна. Структурна схема дає уявлення про влаштування та складові системи переробки загалом, а функціональна показує ділення системи на контури, елементи автоматизації (клапани, двигуни, датчики) та її зв'язок з керуючим контролером.

Відштовхуючись від аналогічних ліній переробки, була спроектована власна лінія, нововведенням якої була заміна місцями циклів подрібнення та миття пляшок. Таким чином, спочатку ПЕТ-пляшки очищувалися, а вже потім подрібнювалися і проходили додаткове очищення. При цьому були враховані переваги та недоліки аналогів і до проекрованої системи були поставлені вимоги: зменшена займана площа, зменшене енергоспоживання та більша зручність керування системою дистанційно. Ці тези були дотримані та виконані.

Засоби автоматизації були підібрані відповідно до вимог системи, котрі були обчислені за допомогою відповідних формул (точність датчиків, діаметр труб та клапанів тощо).

На основі розробленої функціональної схеми був підібраний контролер та модулі вводу-виводу для нього; для контуру сушіння була складена математична модель клапану подачі гарячої пари і синтезовано регулятори (ходу штоку та тиску пари на виході), що зменшили час встановлення необхідного значення у 6 разів для штоку та 3 рази для тиску пари. Для цього ж контуру була розроблена програма, яка керує процесом сушіння, а саме створенням необхідних умов для транспортування, сушіння та виведення чистого флексу далі до наступного контуру. Алгоритм програми був відображений на відповідній схемі формату А3.

Додатково був спроектований операторський щит, що відповідає усім ергономічним вимогам та є зручним у користуванні оператором з метою дистанційного керування системою переробки ПЕТ-виробів.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сроки разложения мусора в фотографиях [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://bigpicture.ru/?p=533068> – Назва з екрану. 11.06.2019 р.
2. Линия по переработке ПЭТ бутылок производительностью 300 кг в час [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://stankopolimer.ru/ko-pet-300.html> – Назва з екрану. 11.06.2019 р.
3. Линия для переработки ПЭТ бутылок | Оборудование в Китае [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://86007machine.com/oborudovanie/pererabatyvayuschee/37> – Назва з екрану. 11.06.2019 р.
4. Оборудование для переработки ПЭТ [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://tp-v.ru/catalog/pet/> – Назва з екрану. 11.06.2019 р.
5. Ванна флотации С-МВФ-ПЭТ – Станкополимер [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://stankopolimer.ru/mvf-pet.html> – Назва з екрану.
6. Расчет диаметра трубопровода по расходу, зависимость расхода от давления [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://vseprotruby.ru/vodoprovodnye/diametr-rashod-davlenie.html> – Назва з екрану. 11.06.2019 р.
7. Расходомеры VORTEX PhD™ [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://vorflow.ru/data/products/5/VORTEXphd.pdf> - Назва з екрану.
8. Полнопроходной вихревой расходомер VORTEX PhD [Электронный ресурс] : Режим доступа: http://vorflow.ru/units/5-Polnoprohodnoj_vixrevoj_rasxodomer_VORTEX_PhD.html - Назва з екрану.
9. Датчик положения клапана VPT – контрольно-измерительные приборы Dwyer [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://dwyer.ru/catalog/pozitsionery/datchik-polozheniya-klapana-vpt> - Назва з екрану. 11.06.2019 р.
10. Thermocont TS – цифровой измеритель температуры [Электронный ре-

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сурс] : Режим доступа: <https://rusautomation.ru/termometriya/thermocont-ts> - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

11. Микроволновый уровнемер PiloTrek W-100 компактный и высокоточный [Электронный ресурс] : Режим доступа:

https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/pilotrek-w100 – Назва з екрану.

12. NivoCap емкостной преобразователь уровня (уровнемер) [Электронный ресурс] : Режим доступа: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/nivocap - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

13. Привод для автоматических распашных дверей – DoorHan [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://doorhan.ru/spravka/data-test.php?data=AD-Swing.xml> – Назва з екрану. 11.06.2019 р.

14. Электродвигатель АИР 100 L2 [Электронный ресурс] : Режим доступа: https://электродвигатель.com.ua/products/el_motor/86/124/ - Назва з екрану.

15. ТРС-1261-A1 | Kaman Automation [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://kamanautomation.com/product/advantech-tpc-1261h-a1/> - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

16. ТРС-1261Н / Advantech / Промышленные компьютеры / Панельные компьютеры / Сенсорные HMI панели для АСУ ТП серии ТРС [Электронный ресурс] : Режим доступа:

<http://www.rts.ua/rus/catshop/777/0/19619/advantech/> - Назва з екрану.

17. 25ч945п – клапан КЗР односедельный фланцевый с электрическим исполнительным механизмом [Электронный ресурс] : Режим доступа:

<http://saz-avangard.ru/catalog/klapany-reg/odnosedelniy-chugunniy-eim/25ch945p/> - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

18. 25ч945п Клапан запорно-регулирующий односедельный Ду15-300, Ру16-25 [Электронный ресурс] : Режим доступа:

https://www.promarm.ru/valves/control_valve/25ch945p - Назва з екрану.

19. Клапаны соленоидные больших диаметров АСТА Р01/04 пилотное управление, НЗ, НО 2/2 ходовые, DN65-DN200, 1,0 – 16 бар [Электронный ресурс] : Режим доступа: http://asteama.ru/data/ESKA_PDF/АСТА_P01.pdf -

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Назва з екрану. 11.06.2019 р.

20. Клапан регулирующий АСТА P11 DN15-300 PN16-40 [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://asteama.ru/data/ASTA/PDF/ASTA_P11_DN15-300.pdf - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

21. Клапан регулирующий V25 DN15-150 PN16/40 [Электронный ресурс] : Режим доступа: http://asteama.ru/data/ADCA/AV/V25_ADCA.pdf - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

22. 56.120/1 VUG: Проходной фланцевый клапан, PN 25/16 [Электронный ресурс] : Режим доступа: https://www.steamsys.ru/userfiles/af_catalog_attachments_files_storage/VUG.pdf - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

23. Электропривод AUMA SA 07.6 – Sevit [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://sevit.pro/product/электропривод-auma-sa-07-6/#tab-description> – Назва з екрану. 11.06.2019 р.

24. ADAM-8000 – новое поколение контроллеров Advantech [Электронный ресурс] : Режим доступа: https://www.prosoft.ru/news/225879_adam8000--novoey-pokoleniey-kontrollerov-advantech.html - Назва з екрану.

25. ADAM-8000 Series [Электронный ресурс] : Режим доступа: https://stevenengineering.com/tech_support/PDFs/09-16ADAM8000.pdf - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

26. Вентилятор для пневмотранспорта – Основа-Т [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://stanki.ru.com/p204735344-ventilyator-dlya-pnevмотransporta.html> - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

27. Расчет системы автоматического управления – StudFiles [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/4525003/> - Назва з екрану. 11.06.2019 р.

28. ГОСТ Р 52720-2007. Арматура трубопроводная, Термины и определения [Текст]. – Введ. 2008-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 10 с.

29. Покотилов В. В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тепло- и холодоснабжения [Текст] / В. В. Покотилов. – 2-е издание. - Вена: «HERZ Armaturen», 2017. – 228 с.
30. Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність [Текст] / Н. Б. Репнікова. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011. – 328с.
31. Елисеев В. А. Справочник по автоматизированному электроприводу [Текст] / В. А. Елисеев, А. В. Шинянский. – М.: «Энергоатомиздат», 1983. – 616 с.
32. Энциклопедия терминов. Коэффициент перегрузки [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/stroitel/2506> - Назва з екрану. 11.06.2019 р.
33. Ключев А. С. Монтаж средств измерений и автоматизации. Справочник [Текст] / А. С. Ключев. – 3-е издание. – М.: «Энергоатомиздат», 1988. – 448 с.
34. Кнопка SB-7 «Пуск» d22 мм зеленая 240В 1з IEK ВВТ40-SB7-K06 [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://voltamper.com.ua/knopka-sb-7-pusk-d22-mm-zelenaya-240v-1z-iek> - Назва з екрану. 11.06.2019 р.
35. «Астра-10» исполнение 3. Оповещатель охранно-пожарный комбинированный [Электронный ресурс] : Режим доступа: https://www.teko.biz/upload/rukovod/10-3v4_1.pdf - Назва з екрану.
36. Переключатель 8КНР, характеристики, параметры [Электронный ресурс] : Режим доступа: https://eandc.ru/catalog/index.php?SECTION_ID=142&ELEMENT_ID=24734 – Назва з екрану. 11.06.2019 р.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		